

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и электропривод дутьевого аппарата.

УДК 621.31:62-83-52.621.182

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Мадмуродов Хасанжон Илхом угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШЭ, ОЭЭ	Чернышев И.А	К.Т.Н, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Попова С.Н	К.Э.Н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская А.М	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, руководитель ОЭЭ	Дементьев Ю.Н	Ph D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель отделения ОЭЭ

_____ Ю.Н. Дементьев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Мадмуродов Хасанжон Илхом угли

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод дутьевого аппарата.

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№856/с от 08.02.2018
---	----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none">– номинальный КПД $\eta_H = 93\%$– номинальная скорость вращения $n_H = 986$ об/мин;– номинальная производительность $Q_H = 25200$ м³/ч;– номинальное давление $p_H = 2738$ Па.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Технологический процесс. 2. Расчет мощности насоса и выбор асинхронного электродвигателя. 3. Описание и выбор системы управления ЭП. 4. Расчет схемы замещения и построение естественных и регулировочных характеристик АД. 5. Разработка и исследование имитационной модели «АД», «ПЧ-АД» в среде Matlab.
Перечень графического материала	1. Схема замещения АД. 2. Имитационные модели «АД», «ПЧ-АД». 3. Результаты исследований.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова Светлана Николаевна
«Социальная ответственность»	Ледовская Анна Михайловна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.03.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Мадмуродов Хасанжон Илхом угли		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРССБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Мадмуродов Хасанжон Илхом угли

Школа	ИШЭ	Отделение	Отделение электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): энергетически, информационных и человеческих</i>	
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. SWOT-анализ</i>	
<i>2. Оценка перспективности проекта</i>	
<i>3. Составление плана и определение трудоемкости по проектированию работ</i>	
<i>4. Определение экономической эффективности</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Мадмуродов Хасанжон Илхом угли		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Мадмуродов Хасанжон Илхом угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочая зона – лаборатория 8 корпуса ТПУ, № 234 «Монтажа, наладки и эксплуатации электрооборудования»
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p>Анализ следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • отклонение параметров микроклимата от допустимых значений (повышенная интенсивность теплового излучения); • шум; • вибрация; • недостаточное освещение; • электромагнитное поле <p>Анализ следующих опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • поражение электрическим током; • механические травмы.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Анализ воздействия на атмосферу (выбросы), на гидросферу (сбросы) и на литосферу (образование отходов) в процессе работы в лаборатории №234.</p>

<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Анализ типичной ЧС – пожара:</p> <ul style="list-style-type: none"> • источники возгорания; • категория помещения по пожарной опасности; • средства тушения пожара
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне лаборатории.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Мадмуродов Хасанжон Илхом угли		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	11
1. Описание технологического процесса котельной.....	12
1.2.Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода дутьевого вентилятора.....	22
2. Выбор оборудования и расчет параметров.....	25
2.1. Аэродинамические характеристики и параметры вентилятора ВДН-12,5У	
2.2. Выбор приводного двигателя.....	27
2.3. Механические характеристики вентилятора.....	32
2.4. Выбор типа преобразователя и способа регулирования.....	36
2.5. Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты-асинхронный двигатель.....	36
2.6. Электромеханические механические характеристики электропривода, выполненного по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель».....	37
3. Создание математической модели и проведение имитационного моделирования работы в MATLAB SIMULINK.....	44
3.1 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя.....	44
3.2 Моделирование пуска электродвигателя с частотным законом управления $U/f^2 = \text{const}$	47
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	55
4.1 Определение трудоемкости выполнения работ.....	58
4.2 Составление сметы технического проекта.....	61
4.3 Полная заработная плата исполнителей темы.....	61
4.4Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	63
4.5 Накладные расходы.....	63
4.6Формирование сметы технического проекта.....	63
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	67
5.1. Производственная безопасность.....	68

5.2. Вредные производственные факторы.....	68
5.3. Микроклимат.....	69
5.4. Освещенность.....	71
5.5. Электромагнитные поля.....	74
5.6. Повышенный уровень шума.....	76
5.7. ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ.....	77
5.8. Поражение электрическим током.....	77
5.9. Опасные факторы термического характера.....	80
6. Экологическая безопасность.....	80
6.1. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
6.2. Правовые и организационные вопросы безопасности.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	87

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод дутьевого вентилятора котлоагрегата БЭМ-25/4,0-380Г, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования $D = 1:5$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с возможностью интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP54.
6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°С и относительной влажности не более 80% .
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 88 страниц, 27 рисунков, 13 таблиц, 21 источник, 1 приложение, 3 листа графического материала.

ДУТЬЕВОЙ ВЕНТИЛЯТОР, АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом выпускной квалификационной работы является электропривод дутьевого вентилятора. Цель работы – разработка и исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода дутьевого вентилятора.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчет и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода дутьевого вентилятора.

В разделе безопасность и жизнедеятельность труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003, в работе использованы программы WINDORA, MathCAD, Microsoft Visio 2003, Microsoft Power Point, Simulink (MatLab 7).

ВВЕДЕНИЕ

Трудно найти в настоящее время промышленный или какой-либо другой технологический процесс, в котором не используются электрические двигатели. Для решения задач автоматизации управления электрическими двигателями частотные преобразователи представляют собой идеальные устройства.

Широкий диапазон регулирования скорости вращения электродвигателя, высокая точность поддержания ее на установившихся режимах, плавный пуск и торможение электропривода, режимы энергосбережения – это лишь малый перечень преимуществ частотно регулируемого привода по отношению к другим типам приводов.

Естественно, что в любом производстве и на любом предприятии есть как традиционные задачи, так и специфические или уникальные задачи, решение которых не всегда тривиально.

Из всех механизмов котельной, приводимых в движение асинхронными двигателями, определяющее значение с точки зрения энергетической эффективности имеют тягодутьевые механизмы. Они потребляют почти 60% электроэнергии от собственных нужд котельной.

Использование частотного регулирования электроприводов тягодутьевых механизмов обеспечивает:

автоматическое поддержание на заданном уровне разрежения на выходе котла и давления подаваемого в котел воздуха во всех режимах работы (розжиг/останов котла, работа при различном количестве включенных горелок);

устойчивый автоматический розжиг котла без отрыва пламени. Время розжига меньше по сравнению с ручным управлением.

При автоматическом поддержании параметров наряду с экономией электроэнергии обеспечивается оптимальный режим работы котельной,

минимизация вредных выбросов в атмосферу, увеличение срока службы оборудования.

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОТЕЛЬНОЙ

Система автоматического управления котла БЭМ-25/4,0-380Г, поставляемых для технологической котельной КОО «Азот» (г.Кемерово), строится на базе программируемого контроллера DL-205 фирмы Automation Direct, США.

Система управления включает следующие средства:

- станция управления с операторской панелью (рисунок 1.1);
- операторская станция;
- шкаф электрический для управления регулирующей арматурой;
- шкаф электрический для управления запорной арматурой;
- аппаратура частотного регулирования скоростью двигателей тягодутьевых машин;
- комплект приборов КИПиА.

Электропитание станции управления осуществляется напряжением 220 В, потребляемая мощность до 3,0 кВт.

Заземление станции управления и шкафов электрических осуществляется в соответствии с общими требованиями ПУЭ для потребителей до 1000 В. Отдельного контура заземления для средств автоматики котла не требуется.

Станция управления (контроллер с модулями УСО) имеет климатическое исполнение УХЛ 3.1 при температуре окружающего воздуха от 0 до +40°C. Конструктив станции имеет габаритные размеры 1800х600х600 двухстороннего обслуживания, исполнение IP54 по защите от внешних воздействий, что обеспечивает устойчивую работу аппаратуры в производственных помещениях. Поэтому станция управления и шкафы электрические могут размещаться в непосредственной близости от котла.

Шкафы электрические - одностороннего обслуживания с габаритами 1800x600x400.

В состав операторской станции входят два компьютера офисного исполнения, поэтому она должна размещаться в отдельном помещении с комфортными условиями окружающей среды: температура от 15 до 25°C, относительная влажность 40... 70%.

Контроль состояния технологического оборудования и отдельных исполнительных механизмов осуществляется с помощью показывающих приборов, датчиков технологических параметров и состояния исполнительных механизмов котла. Сигналы от датчиков вводятся в устройство управления для анализа и выработки управляющих воздействий в соответствии с алгоритмом управления. Одновременно эти сигналы используются для отображения информации об объекте, регистрации и сигнализации средствами системы управления (местный пульт станции управления, дисплей операторской станции). Комплект приборной продукции обеспечивает контроль параметров, характеризующих работу котла, обеспечивающих автоматическое управление котлом и полное представление информации оперативному персоналу о режимах работы и состоянии оборудования котла.

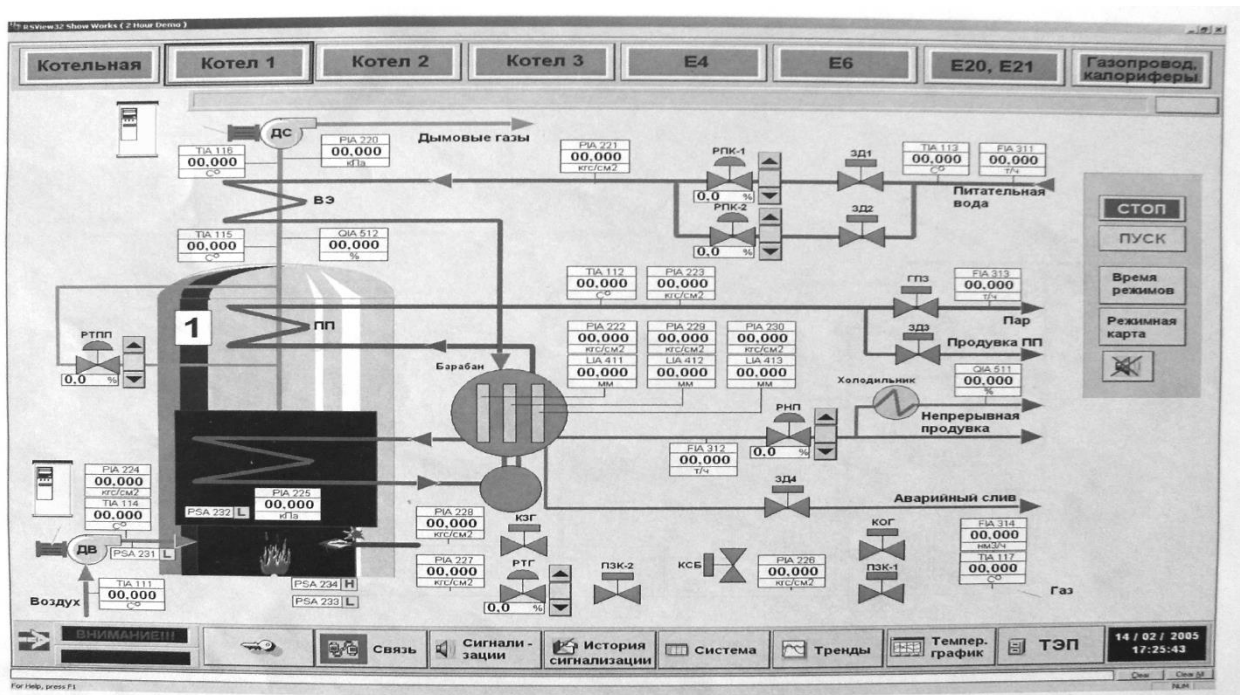


Рисунок 1 – Мнемосхема системы автоматического управления технологическим процессом

Устройство управления формирует сигналы управления, в том числе признаки состояния оборудования, пороговые сигналы текущих значений аналоговых датчиков, аварийной и предупредительной сигнализации, управляющие воздействия схем управления, регулирования и защит на исполнительном механизме котла.

Управление исполнительными механизмами осуществляется через низковольтные коммутирующие устройства (НКУ), которые обеспечивают коммутацию рабочего напряжения электропривода исполнительного механизма по сигналам от устройства управления или по команде оператора с пультов системы управления. Управление исполнительными механизмами в автоматическом режиме обеспечивает установку арматуры в открытое и закрытое положение, останов запорного устройства арматуры в любом промежуточном положении, автоматическое отключение привода при достижении запорным устройством арматуры крайних положений, плотное закрытие запорной арматуры с созданием гарантированного усилия на уплотнительных поверхностях рабочего органа, блокировку

взаимоисключающих команд управления (открыть и закрыть), выдачу сигналов крайних положений и аварийных отключений привода (заклинивание, перегрузка и т.д.).

Электроприводы задвижек и запорных вентилей оснащены концевыми выключателями, определяющими крайние положения "открыто" и "закрыто".

Управление регулирующими устройствами предполагает формирование сигналов управления «больше/меньше» различной длительности (широтно-импульсная модуляция). Исполнительные механизмы регулирующих клапанов (МЭО) и встроенные электроприводы регулирующих клапанов оборудованы аналоговыми датчиками для индикации положения рабочего органа.

Средства автоматизации (исполнительные механизмы, приборы контроля и измерения теплотехнических параметров и состояния исполнительных механизмов) с технологическим оборудованием можно условно разделить на следующие функциональные группы:

- пароводяной тракт котла;
- горелка и топливопроводы котла;
- воздухогазоходы котла.

Оборудование пароводяного тракта обеспечивает питание котла водой, поддержание требуемых значений уровня воды в барабане и солесодержания котловой воды, выработку пара, его перегрев и отвод перегретого пара потребителю.

Пароводяной тракт котла включает узел питания, экономайзер, два барабана котла с системой опускных и испарительных труб, линию непрерывной продувки барабана котла, линию аварийного слива воды из барабана, пароперегреватель и паропроводы, обеспечивающие отвод вырабатываемого пара.

Питание котла осуществляется специально подготовленной деаэрированной водой, соответствующей требованиям руководства по

эксплуатации. Питательная вода подается к узлу питания котла от системы водоподготовки с температурой 105°C и давлением 5,5 МПа. Узел питания имеет две одинаковые линии (рабочая и резервная), каждая из которых оборудована регулирующим клапаном (РПК1 и РПК2), запорной задвижкой (ЗД1 и ЗД2) и манометром для контроля давления перед клапанами. Резервная линия отключается запорной задвижкой. Регулирующий клапан рабочей линии узла питания обеспечивает изменение расхода питательной воды и является исполнительным механизмом регулятора уровня воды в барабане котла. После узла питания вода поступает на экономайзер. Трубопровод питательной воды комплектуется расширителем с термометром техническим, который устанавливается после узла питания, и аналогичным термометром с бобышкой для установки на трубопроводе после экономайзера. Расширитель после узла питания имеет штуцер с запорным вентилем для подключения датчика давления (221).

После экономайзера нагретая до 175°C питательная вода поступает в «чистый» отсек верхнего барабана котла. Верхний барабан имеет «соленый» и «чистый» отсеки и оборудован предохранительным клапаном, отборными устройствами для подключения приборов контроля давления пара и уровня воды в барабане. По опускным трубам вода из «чистого» отсека поступает в нижний барабан и далее в трубную разводку поверхностей нагрева. В испарительных трубах поверхностей нагрева вода частично испаряется, и пароводяная смесь возвращается в верхний барабан.

Часть воды из «чистого» отсека поступает в «соленый» отсек барабана, который подключен ко второму контуру испарения. В результате концентрация солей в котловой воде «соленого» отсека значительно выше, чем в «чистом». К «соленому» отсеку подключена линия непрерывной продувки котловой воды, оборудованная регулирующим клапаном РНП. Для подключения приборов контроля расхода (312) и солесодержания (511) котловой воды на линии непрерывной продувки после клапана проектом привязки должны быть предусмотрены соответствующие отборные

устройства. Продувка (сброс) части воды из «соленого» отсека позволяет удерживать солесодержание котловой воды в допустимых пределах. Клапан РНП является исполнительным механизмом регулятора непрерывной продувки (солесодержания) котловой воды. К «чистому» отсеку верхнего барабана подключена линия аварийного слива с электрифицированной запорной задвижкой ЗД2, которая обеспечивает сброс воды из барабана (локальная защита) при повышении уровня выше рабочего до Н1 (+60мм от среднего рабочего уровня воды в барабане).

В верхнем барабане осуществляется сепарация пара от капель воды, и пар по паропроводящим трубам подается на пароперегреватель. Пароперегреватель котла обеспечивает перегрев пара до температуры 410...450°С в диапазоне нагрузок 70... 100% от номинальной. Частичное регулирование температуры перегрева осуществляется отводом части дымовых газов мимо пароперегревателя через перепускной газопровод с регулирующим шибером. Перемещение шибера, который является исполнительным механизмом регулятора температуры перегретого пара, осуществляется МЭО (ИМЗ).

Перегретый пар поступает в выходной коллектор и паропроводом отводится от котла. Коллектор перегретого пара оборудован предохранительным клапаном, отборными устройствами для подключения приборов контроля давления и температуры пара, главной паровой задвижкой ГПЗ и линией продувки пароперегревателя с электрифицированной запорной задвижкой ЗД3. ГПЗ служит для подключения и отключения паровой нагрузки котла. Линия продувки пароперегревателя обеспечивает защиту пароперегревателя от высоких температур при прогреве котла, когда паровая нагрузка отсутствует (ГПЗ закрыта).

Котел оборудован газомазутной горелкой ГМ-20Х и топливопроводом, которые обеспечивают работу котла на газообразном топливе.

Горелка ГМ-20Х комплектуется электрогазовым запальником. Запальник имеет встроенные электрод зажигания и контрольный электрод ионизационного датчика. Автоматика котла включает высоковольтный трансформатор розжига для получения искры зажигания и прибор контроля пламени ФЭСП-2 для преобразования сигнала ионизационного датчика о наличии пламени запальника в стандартный сигнал типа «сухой» контакт. Контроль наличия факела горелки осуществляется тем же прибором ФЭСП-2, который включает низкочастотный фотодатчик. Для крепления ФЭСП-2 горелка "оборудована визирной трубой с фланцем.

На горелке установлены отборные устройства для подключения показывающих напорометров (207 и 208) для визуального контроля давления периферийного и внутреннего воздуха горелки, устанавливаемых по месту в непосредственной близости от горелки.

Топливопровод котла служит для подачи газообразного топлива на запальник и горелку котла и оснащен блоком газовым БГ-8.01. Ду 150.

Блок газовый включает следующую электрифицированную арматуру:

- два клапана отсечных газа с электроприводом КОГ;
- клапан электромагнитный нормально закрытый (КОГ) на байпасной линии для проверки герметичности затвора отсечных клапанов газопровода;
- клапан электромагнитный нормально открытый на линии свечи безопасности КСБ;
- клапан электромагнитный нормально закрытый на линии подачи газа к запальнику (КЗГ);
- регулирующая заслонка газопровода горелки (затвор регулирующий дисковый) с МЭО (ИМ1).

Регулирующий клапан ИМ1 является исполнительным механизмом регуляторов давления газа (при пуске котла) и давления пара на выходе котла (при работе с подключенной паровой нагрузкой).

Газопровод горелки оснащается приборами и датчиками для контроля следующих параметров (в скобках приведены позиционные обозначения по функциональной схеме):

- температура газа к котлу до измерительной диафрагмы (117);
- давление в газопроводе к котлу до измерительной диафрагмы (205,228);
- давление в газопроводе между клапанами ПЗК1 и ПЗК2 (226);
- давление газа за регулирующим клапаном перед горелкой (209,227,233, 234);
- расход газа на горелку (314).

Приборы контроля параметров газа к котлу обеспечивают визуальный контроль по месту (205), предупредительную сигнализацию о снижении давления газа к котлу (228), а также коррекцию по температуре и давлению (117, 228) при определении расхода газа (314). Датчик давления между клапанами (226) служит для проверки герметичности затвора клапанов отсечных (опрессовка) перед розжигом горелки. Датчики давления газа перед горелкой служат для визуального контроля текущего значения параметра по месту (209), формирования сигналов аварийной (233, 234) и предупредительной (227) сигнализации при повышении или снижении давления, используются при регулировании давления газа перед горелкой и соотношения топливо-воздух (227). Для подключения импульсных линий блок газовый оборудован штуцерами с трехходовыми кранами КМ 1.00.

Газовоздуховоды (газовоздушный тракт) и тягодутьевое оборудование котла обеспечивают подачу воздуха на горелку в количестве, необходимом для оптимального горения, отвод продуктов сгорания (дымовых газов) и поддержание заданного разрежения в топке.

Функциональная схема регулятора давления воздуха приведена на рисунке 2.

Исполнительными механизмами газовоздуховодов являются:

- дутьевой вентилятор (ДВ);
- направляющий аппарат вентилятора с МЭО (ИМ3);
- дымосос котла (ДС);
- направляющий аппарат дымососа с МЭО (ИМ4).

Для включения тепловой защиты и контроля состояния вентилятора и дымососа служит аппаратура управления двигателем (АУД) тягодутьевых машин. АУД выбирается проектом привязки и включает оборудование частотного регулирования скорости вращения тягодутьевых машин, а также схему контроля состояния двигателя вентилятора или дымососа. Схема контроля состояния обеспечивает формирование дискретного сигнала типа «сухой» контакт (КС) об отключении двигателя. Сигнал формируется при любом отключении двигателя, в том числе при срабатывании тепловой защиты или защиты по максимальному току двигателя. В частности, для контроля включенного состояния двигателей могут быть использованы выходные дискретные сигналы частотного регулятора.

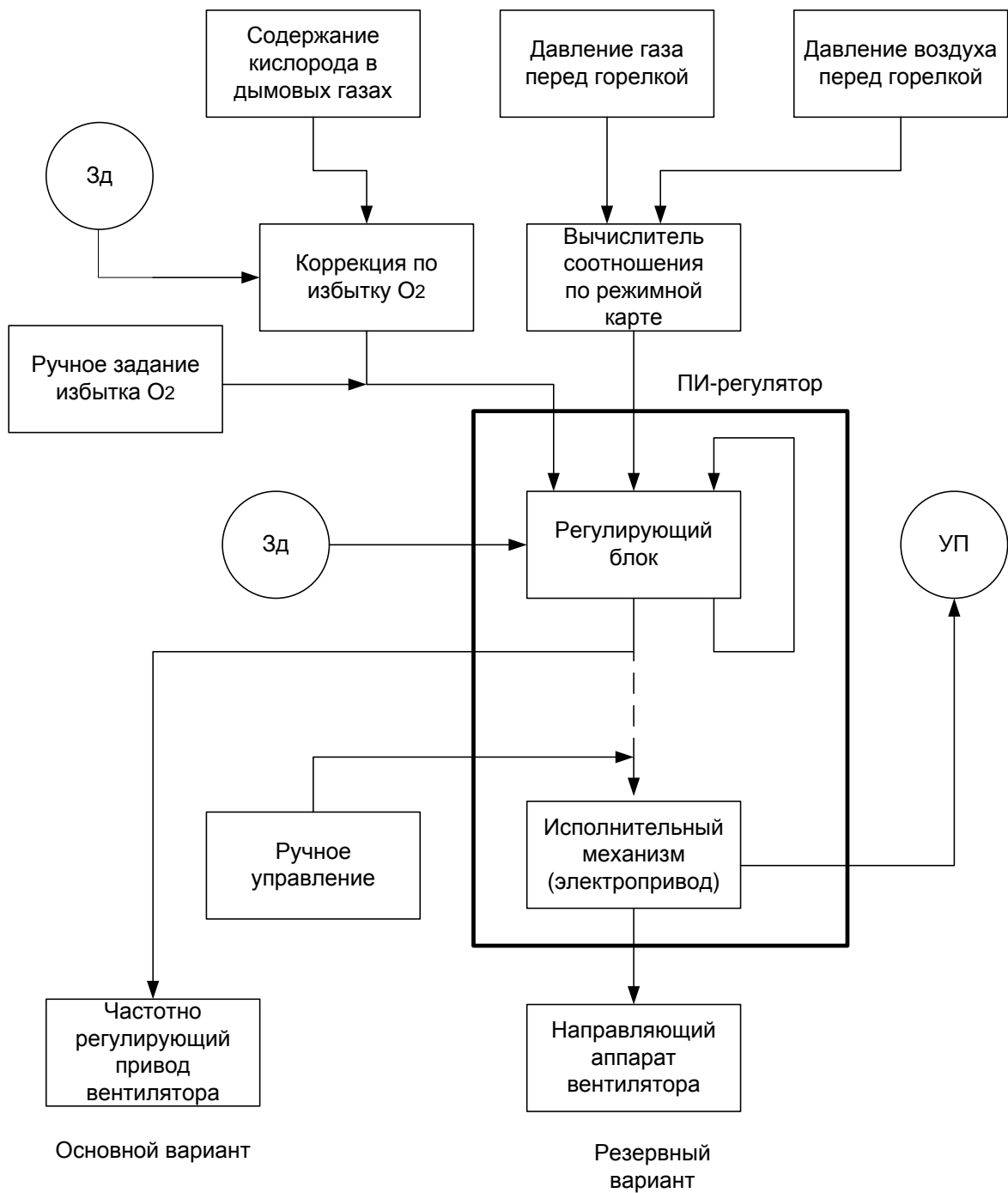


Рисунок 2 – Функциональная схема регулятора давления воздуха

Газовоздуховоды оснащаются приборами и датчиками для контроля следующих параметров:

- температура воздуха перед горелкой (114);
- давление воздуха перед горелкой (206,224,231);
- разрежение в топке (210,225,232);

- температура дымовых газов до (115) и после экономайзера (116);
- разрежение перед дымососом (211);
- содержание кислорода в дымовых газах за котлом (512).

Датчик температуры воздуха перед горелкой обеспечивает визуальный контроль текущего значения параметра на щите управления и формирование сигналов предупредительной сигнализации о снижении температуры. При наладке необходимо учитывать, при какой температуре воздуха составляется режимная карта, и отклонение от этого значения на 20°С должно вызывать предупредительную сигнализацию.

Приборы контроля давления воздуха перед горелкой обеспечивают визуальный контроль текущего значения параметра по месту и на щите управления, формирование сигналов предупредительной и аварийной сигнализации о снижении давления и используются при регулировании пускового давления воздуха перед горелкой и соотношения топливо-воздух. Сигнал датчика содержания кислорода служит корректирующим сигналом при регулировании оптимального соотношения топливо-воздух.

Приборы контроля разрежения в топке обеспечивают визуальный контроль по месту и на щите управления, формирование сигналов предупредительной и аварийной сигнализации о снижении разрежения (отсутствии тяги) и используются для поддержания постоянного разрежения в топке. Датчик температуры дымовых газов за экономайзером обеспечивает визуальный контроль текущих значений параметра и включение предупредительной сигнализации при повышении температуры.

1.2. Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода дутьевого вентилятора

Дутьевые вентиляторы являются механизмами длительного режима работы, нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, перегрузок в установившемся режиме не возникает. Вентиляторы являются механизмами,

обладающими большим моментом инерции, что необходимо учитывать при расчете пусковых характеристик электроприводов.

Пуск вентилятора может производиться как при разгруженной машине (закрыт направляющий аппарат), так и при нормальной работе на сеть. В первом случае максимальный момент при пуске равен примерно 0,5 номинального, во втором – номинальному. При пуске мощных вентиляторов с большим диаметром рабочего колеса обычно требуется ограничение ускорений при пуске во избежание появления чрезмерных динамических напряжений в лопатках рабочего колеса и резкого возрастания пускового тока.

Анализ аэродинамических характеристик вентилятора показывает, что при уменьшении расхода воздуха по условиям технологического процесса изменением положения заслонок даже до 60° - 50° не приводит к снижению потребляемой мощности из сети, а только уменьшает расход (т.е. отдаваемую мощность). Эффективное снижение потребляемой мощности при уменьшении расхода по требованиям технологического процесса возможно только при снижении скорости электродвигателя. В связи с этим особое значение для дутьевых вентиляторов имеет применение регулируемого электропривода, т. к. по некоторым источникам КПД вентиляторов при регулируемом электроприводе должно быть больше, чем при нерегулируемом в среднем на 15–20% [3].

Наиболее эффективным средством модернизации при работе агрегата с приводом от имеющегося асинхронного электродвигателя является применение частотно-регулируемого привода.

Кроме повышения КПД, применение регулируемого привода для вентиляторов позволяет в ряде случаев упростить конструкцию турбомашин, исключив направляющий аппарат. Кроме улучшения энергетических характеристик, значительно изменяются эксплуатационные показатели: увеличивается межремонтный цикл из-за снижения механических нагрузок и

смягчения пусковых режимов, легко выбирается необходимый технологический режим и обеспечивается параллельная работа вентиляторов.

Система управления тягодутьевым механизмом включает несколько частотных преобразователей (управление приводом дымососов и вентиляторов), датчики разрежения и датчики давления, пульт управления оператора.

Использование частотного регулирования электроприводов тягодутьевых механизмов обеспечивает:

- автоматическое поддержание на заданном уровне разрежения на выходе котла и давления подаваемого в котел воздуха во всех режимах работы (розжиг/останов котла, работа при различном количестве включенных горелок);

- устойчивый автоматический розжиг котла без отрыва пламени. Время розжига меньше по сравнению с ручным управлением.

При автоматическом поддержании параметров наряду с экономией электроэнергии обеспечивается оптимальный режим работы котельной, минимизация вредных выбросов в атмосферу, увеличение срока службы оборудования.

Модернизация действующих котельных производится с минимальными изменениями существующей структуры: частотные преобразователи включаются в разрыв силовой сети 380 В между пусковой аппаратурой и электродвигателями. Дроссельные заслонки в каналах дымососа и вентилятора полностью открыты.

В контрольных точках устанавливаются датчики разрежения и давления воздуха, сигналы с которых подаются на входы соответствующих частотных преобразователей, образуя замкнутые системы автоматического регулирования.

Система преобразователь частоты–асинхронный двигатель создает дополнительные возможности:

- обеспечивает программируемую защиту электродвигателя от перегрузок в рабочих и аварийных режимах;
- обеспечивает перепрограммирование режимов плавного пуска и торможения электродвигателя;
- предусматривает возможность автоматического (программируемого) перевода системы в режим экономии электроэнергии при работе с моментом нагрузки меньше номинального;
- повышает надежность оборудования, увеличивает срок службы основного технологического оборудования.

2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

2.1. Аэродинамические характеристики и параметры вентилятора ВДН-12,5У

Вентилятор ВДН-12,5У имеет диаметр рабочего колеса $D=1250$ мм² и скорость вращения колеса 980 об/мин, что определяет непосредственное соединение с электродвигателем. Момент инерции вентилятора $J_{\text{вент}}=2,4$ Н·м.

Область аэродинамических характеристик вентилятора ВДН-12,5У приведена на рисунке 3. Характеристики вентилятора приведены для параметров воздуха при нормальных атмосферных условиях.

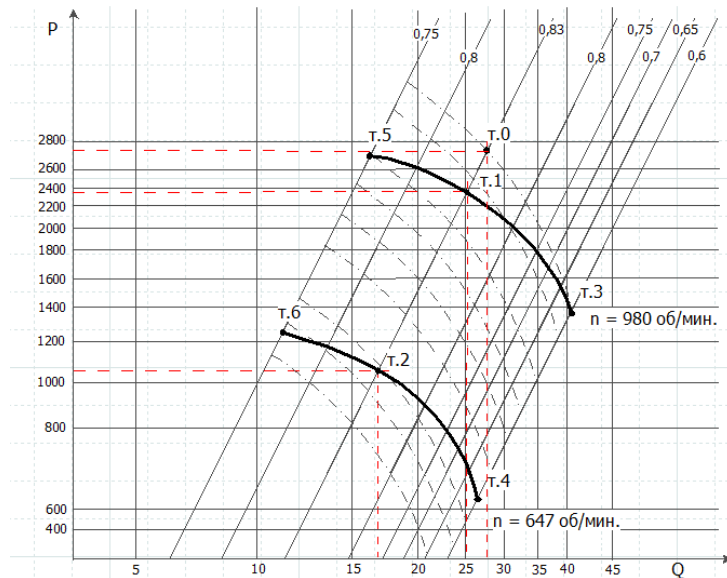


Рисунок 3 – Область аэродинамических характеристик вентилятора ВДН-12,5У

По аэродинамическим характеристикам для выбранной точки работы i определяются производительность, создаваемое давление и КПД вентилятора. Полная и полезная мощность и полный и полезный момент на валу вентилятора, а также скорость вращения приводного двигателя определяются расчетным путем по приведенным ниже расчетным выражениям.

Полная мощность на валу

$$N_{\text{вал}i} = N_{\text{баз}} \cdot \frac{Q_i}{Q_{\text{баз}}} \cdot \frac{p_i}{p_{\text{баз}}} \cdot \frac{\eta_{\text{баз}}}{\eta_i}, \text{ Вт.}$$

Полезная мощность на валу вентилятора

$$N_{\text{пол}i} = N_{\text{вал}i} \cdot \eta_i, \text{ Вт.}$$

Скорость вращения приводного двигателя в выбранной точке работы

$$\omega_i = \omega_{\text{баз}} \cdot \frac{Q_i}{Q_{\text{баз}}} \quad \text{или} \quad \omega_i = \omega_{\text{баз}} \cdot \sqrt{\frac{p_i}{p_{\text{баз}}}}, \text{ рад/с.}$$

Полный момент нагрузки на валу вентилятора

$$M_{\text{вал}i} = \frac{N_{\text{вал}i}}{\omega_i}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Полезный момент нагрузки на валу вентилятора

$$M_{\text{поли}} = \frac{N_{\text{поли}}}{\omega_i}, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Расчет параметров вентилятора в рабочих точках

Параметры базовой точки т.0 (общей для расчета мощности во всех точках работы вентилятора):

$$Q_{\text{баз}} = 27800 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad p_{\text{баз}} = 2738 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{Н}} = 83\%, \quad N_{\text{баз}} = 55000 \text{ Вт}.$$

Точка 1- точка номинального режима работы вентилятора. Параметры т.1 в соответствии с аэродинамическими характеристиками вентилятора:

$$Q_{\text{Н}} = 25200 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad p_{\text{Н}} = 2738 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{Н}} = 83\%,$$

$$n_{\text{Н}} = 980 \text{ об/мин} \quad \text{или} \quad \omega_{\text{Н}} = 102,625 \text{ рад/с}.$$

Тогда расчетные параметры в т.1:

– полная мощность на валу

$$N_{\text{вал1}} = 55000 \cdot \frac{25200}{27800} \cdot \frac{2738}{2738} \cdot \frac{0,83}{0,83} = 49856, \text{ Вт};$$

– полезная мощность на валу вентилятора

$$N_{\text{пол1}} = 49856 \cdot 0,83 = 41380, \text{ Вт};$$

2.2. Выбор приводного двигателя

Номинальная мощность приводного двигателя должна быть равна или несколько больше мощности на валу вентилятора во всех его возможных технологических режимах работы. В режиме регулирования производительности вентилятор потребляет наибольшую мощность при работе в т.1, где $N_{\text{вал1}} = 49856 \text{ Вт}$.

Согласно [10] при синхронной скорости 986 об/мин ближайшим большим по мощности является электродвигатель RA280M6, номинальная мощность

которого равна 55000 Вт. Электродвигатель выбранной мощности удовлетворяет работе вентилятора во всей области аэродинамических характеристик при нормальных атмосферных условиях. Технические характеристики электродвигателя RA280M6 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики электродвигателя RA280M6.

Типо-размер	n_0 , об/мин	$U_{1н}$, В	$P_{дв.н}$, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{P}{P_n}$
				s_n , %	$\cos \varphi_n$	η_n , %	
RA280M6	986	220	55	0,02	0,83	0,93	0,75

Продолжение табл. 1

$m_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_n}$	$m_k = \frac{M_{макс}}{M_n}$	$m_m = \frac{M_{мин}}{M_n}$	$k_{i_{дв}} = \frac{I_{пуск}}{I_n}$	Степень защиты
1,9	3	1,7	7,5	IP54

Расчетные параметры электродвигателя

Номинальное фазное напряжение статора

$$U_{1фн} = \frac{U_{1лн}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

Номинальный линейный ток статора

$$I_{1фн} = I_{1лн} = \frac{P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,93} = 107,959 \text{ А.}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1макс} = k_i \cdot I_{1фн} = 7,5 \cdot 107,959 = 809,692 \text{ А.}$$

Максимальный момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{дв.макс} = m_k \cdot M_{дв.н} = 3 \cdot 532,941 = 1598,823 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Пусковой момент электродвигателя при прямом пуске.

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1.9 \cdot 532.941 = 1012.588 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Определение параметров схемы замещения

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 4.

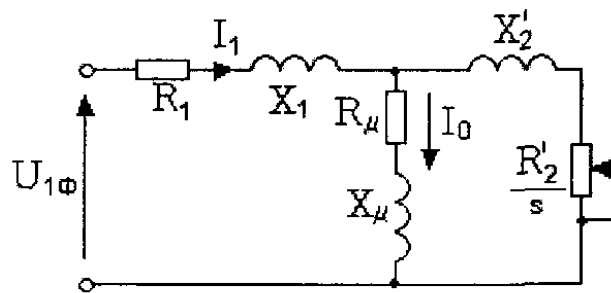


Рисунок 4 – Схема замещения асинхронного двигателя

Ток холостого хода асинхронного электродвигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_1 p_*^2 - \left[\frac{p_* \cdot I_{1\phi H} \cdot (1 - s_H)}{(1 - p_* \cdot s_H)} \right]^2}{1 - \left[\frac{p_* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p_* \cdot s_H)} \right]^2}} = \sqrt{\frac{81.787^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 107.959 \cdot (1 - 0,02)}{(1 - 0,75 \cdot 0,02)} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,02)}{(1 - 0,75 \cdot 0,02)} \right]^2}} = 21.217 \text{ А},$$

где

$$p_* = \frac{P}{P_H} - \text{коэффициент загрузки двигателя, о.е.; принимаем } p_* = 0.75;$$

$\cos\varphi_{p_*}$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке, о.е;

принимаем $\cos\varphi_{p_*} = 0.9$ [15];

η_{p_*} - КПД при частичной нагрузке, о.е; принимаем $\eta_{p_*} = \eta_H = 0,895$

[16];

$$I_{1p_*} = \frac{p_* \cdot P_{\text{ДВ.Н}}}{3 \cdot U_{1\text{фН}} \cdot \cos\varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,822 \cdot 0,93} = 81,787 \text{ А} \quad \text{— ток}$$

статора двигателя при частичной нагрузке.

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме

$$R_2' = \frac{A_1}{C_1 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = \frac{0,426}{\left(1 + \frac{1}{0,127} \right) \cdot 1,013} = 0,047 \text{ Ом,}$$

Где

$$A_1 = m \cdot U_{1\text{н}}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\text{max}} \cdot P_H} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0,02}{2 \cdot 1,013 \cdot 3 \cdot 55000}$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\text{фН}}} = 1 + \frac{21,217}{2 \cdot 7,5 \cdot 107,959} = 1,013$$

— коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_{\mu} + X_{1\sigma}}{X_{\mu}}$;

$$s_K = s_H \cdot \frac{m_K + \sqrt{m_K^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)} =$$

$$= 0,02 \cdot \frac{3 + \sqrt{(3)^2 - [1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (3 - 1)} = 0,127$$

— критическое скольжение;

β — коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, примем $\beta = 1$.

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1.013 \cdot 0.047 \cdot 1 = 0.048 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 7.81 \cdot 1.013 \cdot 0.047 = 0.375 \text{ Ом,}$$

где

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{\text{к}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0.127^2} - 1^2} = 7.81.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к обмотке статора

$$X_{2\sigma\text{н}} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0.375 \cdot 0.375}{1.013} = 0.214 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma\text{н}} = \frac{X_{2\sigma\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0.214}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0.000682 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки

$$X_{1\sigma\text{н}} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0.375 = 0.157 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma\text{н}} = \frac{X_{1\sigma\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,352}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0.0005 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания.

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{206.533}{21.217} = 9.734 \text{ Ом,}$$

где

$$E_m = \sqrt{(U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - R_1 \cdot I_{1\text{фн}})^2 + (U_{1\text{фн}} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}} - X_{1\sigma\text{н}} \cdot I_{1\text{фн}})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0.83 - 0.048 \cdot 107.959)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0.83^2} - 0.157 \cdot 107.959)^2} = 206.533$$

В

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме.

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_{mH} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{9.734}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.031 \text{ Гн}$$

Расчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_m , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, Гн	$X_{кн}$, Ом
0,048	0,157	0,0005	9,734	0,031	0,047	0,214	0,000682	0,375

2.3. Механические характеристики вентилятора

Механическая характеристика вентилятора при работе в номинальном режиме и $\eta = 0,93$ (точки т.1 и т.2)

Номинальный режим работы вентилятора соответствует максимальному значению полного КПД и характеризуется следующими параметрами:

- номинальный КПД $\eta_H = 93 \%$;
- номинальная скорость вращения $n_H = 986$ об/мин;
- номинальная производительность $Q_H = 25200$ м³/ч;

– номинальное давление $p_H = 2738$ Па.

Выражение для механической характеристики вентилятора при работе с постоянным значением КПД η_i имеет следующий вид:

$$M_{с.вент_i}(\omega) = a_i \cdot M_{пол_i} + (1 + b_i) \cdot M_{пол_i} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^x,$$

где a_i и b_i – коэффициенты постоянных и переменных потерь вентилятора в режиме работы с постоянным значением η_i ;

$$a_i \cdot M_{пол_i} = \Delta M_{пост} = \text{const}$$

– момент постоянных потерь на валу вентилятора.

Из условия равенства постоянных и переменных потерь вентилятора в номинальном режиме работы (т. 1) определим значения коэффициентов потерь при работе вентилятора с $\eta_H = 0,83$ (точки работы т. 1 – т. 2) [15]:

$$a_H = b_H = \frac{1 - \eta_H}{2 \cdot \eta_H} = \frac{1 - 0,93}{2 \cdot 0,93} = 0,038$$

Естественная механическая характеристика двигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$ рассчитывается по выражениям:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1фH}^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.047}{104,72 \cdot s \cdot \left[0.375^2 + \left(0.048 + \frac{0.047}{s} \right)^2 + \left(\frac{0.048 \cdot 0.047}{s \cdot 0.048} \right)^2 \right]}; \quad (2.1)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.2)$$

Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ электродвигателя приведена на рисунке 5.

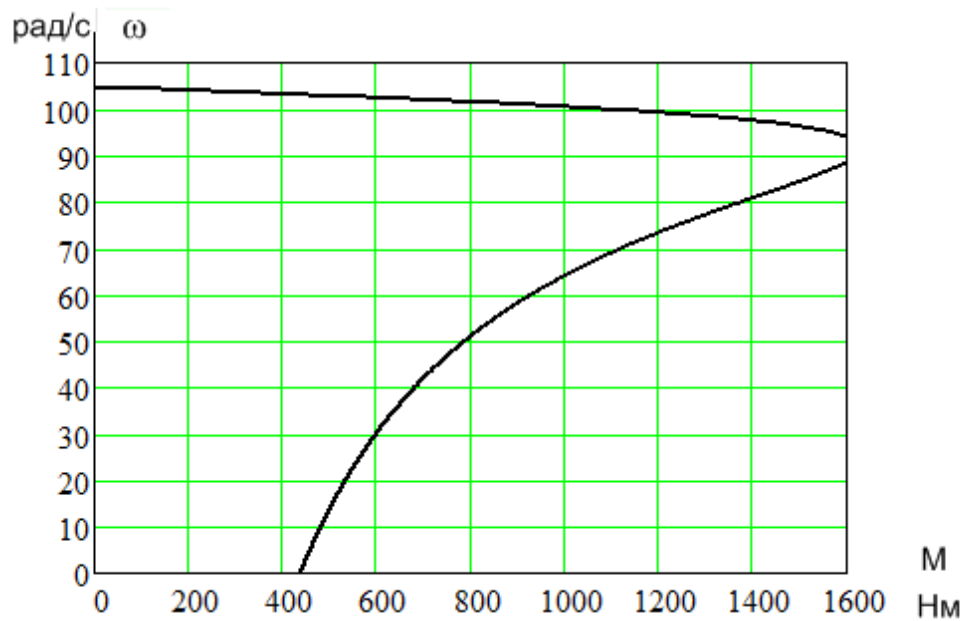


Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$

Естественные электромеханические характеристики двигателя

Естественная электромеханическая характеристика ротора $I'_2(\omega)$ электродвигателя рассчитывается по выражению

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{1\text{H}} + X'_{2\text{H}}}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,048 + \frac{0,047}{s}\right)^2 + (0,157 + 0,214)}}; \quad (2.3)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Естественная электромеханическая характеристика статора $I_1(\omega)$ электродвигателя рассчитывается по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2^2(s) \cdot \sin \phi_2(s)} =$$

$$= \sqrt{21,217^2 + I_2^2(s) + 2 \cdot 21,217 \cdot I_2^2(s) \cdot \sin \phi_2(s)}, \quad (2.4)$$

где $\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{0,372}{\sqrt{\left(0,048 + \frac{0,047}{s}\right)^2 + 0,372^2}}; \quad (2.4)$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.5)$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя $I_1(\omega)$ и $I_2'(\omega)$ приведены на рисунке 6.

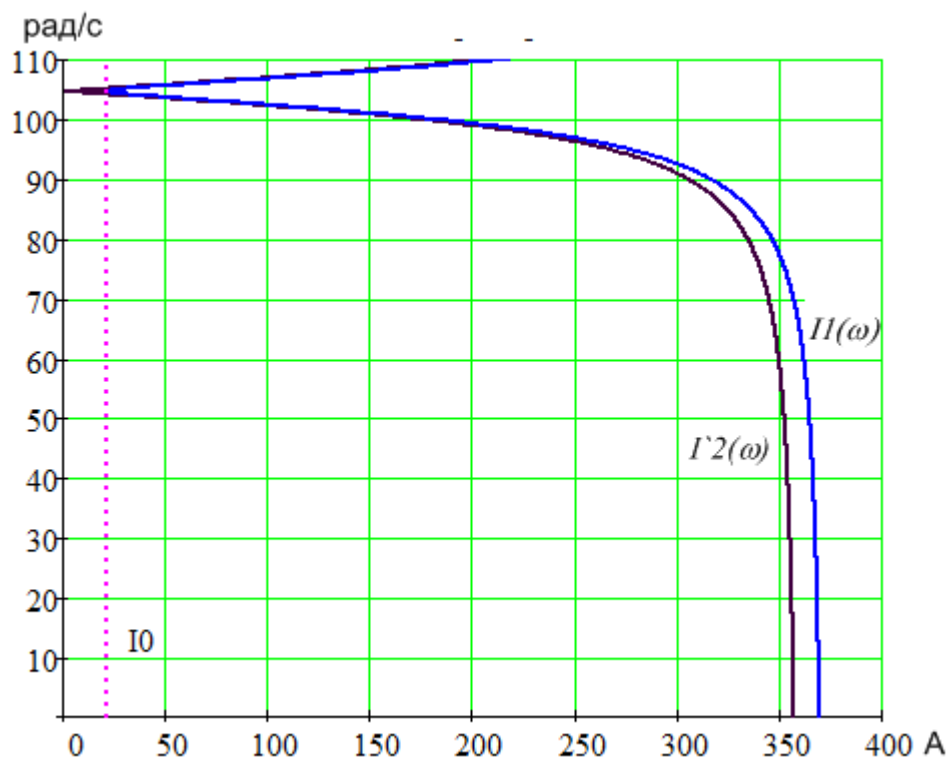


Рисунок 6 – Естественные электромеханические характеристики двигателя

$$I_1(\omega) \text{ и } I_2'(\omega); I_0 = 21.217\text{А}$$

2.4. Выбор типа преобразователя и способа регулирования

Для регулируемого асинхронного электропривода используем преобразователь серии ИРБИ 8, фирмы ИРБИС, параметры которого приведены в таблице 3 [21].

Таблица 3 – Параметры преобразователя частоты ИРБИ 8

Модель	Число фаз на фходе	U_n , В	$I_{ин}$, А	$I_{имакс}$, А	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт
ИРБИ 83(D)	3	380	63	$1,1 \cdot I_{ин}$	55

Общие технические данные преобразователя частоты серии ИРБИ 83:

- коэффициент мощности 0,8;
- КПД не менее 0,95;
- выходная частота 1÷100 Гц;
- частота ШИМ 0,7÷20 кГц.

Способ управления – скалярное.

2.5. Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель реализована во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору

потокосцепления ротора, и приведена на рисунке 7. Управляющими сигналами на входе преобразователя структурной схемы силового канала (рисунок 2.5) являются напряжения постоянного тока. Выходные напряжения преобразователя представляют собой составляющие напряжения статора U_{1d} и U_{1q} в ортогональной системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора Ψ_{2d} .

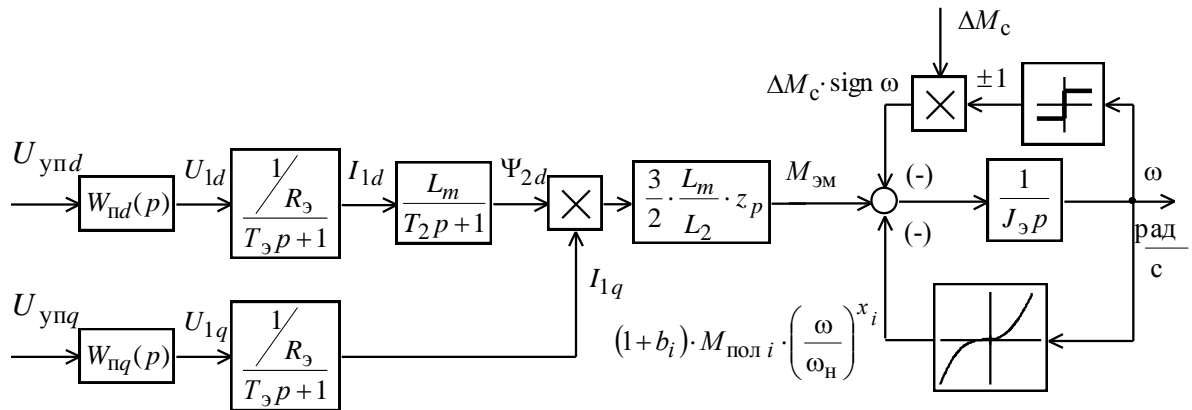


Рисунок 7. Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсацией внутренних обратных связей

2.6. Электромеханические механические характеристики электропривода, выполненного по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

Возможность частотного регулирования скорости асинхронного двигателя — регулирование путем изменения частоты питающего напряжения — вытекает из того обстоятельства, что скорость вращения электромагнитного поля статора пропорционально частоте питающего напряжения

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{P_n}$$

Следует также учесть, что поскольку с изменением частоты питающего напряжения изменяется и величина потока двигателя Φ_1 ,

$$\Phi_1 = \frac{E_1}{kf_1} \approx \frac{U_1}{kf_1}$$

то в большинстве случаев одновременно с изменением частоты питающего напряжения необходимо регулировать и его амплитуду.

Необходимость регулирования напряжения при уменьшении частоты вниз от номинальной связана с тем, что из-за уменьшения индуктивного сопротивления обмоток АД ток намагничивания будет возрастать, что приведет к насыщению магнитопровода двигателя и его перегреву.

Регулирование напряжения следует производить таким образом, чтобы скольжение двигателя было минимальным.

При частотном регулировании величина относительного скольжения S_j зависит как от разности скоростей вращающегося электромагнитного поля и ротора – абсолютного скольжения $S_a = \omega_0 - \omega$, так и от относительного значения f_{1*} частоты питающего напряжения

$$\frac{f_{1j}}{f_{1H}} = f_{1*}, \quad S_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$$

Здесь f_{1j} , ω_{0j} , S_j — регулируемые значения частоты напряжения статора и соответствующие значения скорости вращения и скольжения;

f_{1H} и ω_{0H} — номинальные значения частоты статора и скорость поля, соответствующие паспортным данным двигателя.

$$S_j = 1 - \frac{\omega}{\omega_{0H}}$$

Для анализа электромеханических характеристик двигателя при частотном регулировании. Приходится учитывать, что реактивные

сопротивления двигателя зависят от частоты питающего напряжения и изменяются с изменением частоты.

$$X_{1j} = X_{1H} \cdot f_{1*} ; X_{\mu j} = X_{\mu H} \cdot f_{1*} ;$$

$$X'_2 = X'_{2H} \cdot f_{1*} ; X_k = X_{kH} \cdot f_{1*} .$$

В связи с ним нужно заметить, что при номинальной частоте 50Гц индуктивное сопротивление контура намагничивания $X_{\mu H}$ на порядок (для машин малой мощности) или на два порядка (для машин большой мощности) больше, чем активное сопротивление обмотки статора r'_1 . Поэтому при анализе и расчете электромеханических характеристик асинхронных двигателей, работающих при постоянной номинальной частоте питающего напряжения, сопротивлением r'_1 обычно пренебрегают. Если же двигатель работает с переменной частотой напряжения, то при снижении частоты сопротивление r'_1 , становится соизмеримым с реактивными сопротивлениями машины и учет сопротивления r'_1 , является необходимым.

Мощность скольжения, выделяемая в цепи ротора, расходуется на нагрев обмоток ротора как следует из

$$P_s = M \omega_{0j} S_j = 3 I_2'^2 r'_2 ,$$

откуда

$$M = \frac{3 I_2'^2 r'_2}{\omega_{0j} S_j} .$$

Из схемы замещения, учитывая, что отношения $\frac{X_{1H}}{X_{\mu H}}$ и $\frac{X'_{2H}}{X_{\mu H}}$ гораздо меньше единицы и ими можно пренебречь, определим значение I_2'

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{кН}^2 f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 R'_2}{s X_{\mu H} f_{1*}} \right)^2}}$$

Подставляя выражение получим формулу для механических характеристик при переменных значениях величины и частоты напряжения питания

$$M = \frac{3U_{1j}^2 R_2'}{\omega_{0j} s_j \left[X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(R_{1экв} + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_{1экв} R_2'}{s_j X_{\mu H} f_{1*}} \right)^2 \right]}$$

Положив $\frac{dM}{ds_j} = 0$, найдем значения максимального момента и критического скольжения

$$M_k = \frac{3U_{1j}^2}{2\omega_{0j} \left[r_1 \pm \sqrt{\left(r_1^2 + x_{KH}^2 f_{1*}^2 \right) \left(1 + \frac{r_1^2}{x_{\mu H}^2 f_{1*}^2} \right)} \right]}$$

$$s_{kj} = \pm r_2' \sqrt{\frac{1 + \left(r_1 / X_{\mu H} f_{1*} \right)^2}{r_1^2 + X_{KH}^2 f_{1*}^2}}$$

Знак (+) соответствует двигательному режиму, знак (-) – режиму рекуперативного торможения.

Если пренебрегать величиной активного сопротивления статора то, для того чтобы при частотном регулировании (уменьшении частоты вниз от номинальной) сохранять критический момент постоянным, нужно величину напряжения изменять пропорционально изменению частоты.

Для дутьевого аппарата закон регулирования имеет вид:

$$\frac{U_{1*}}{f_{1*}^2} = const$$

Построим естественную и искусственные механические характеристики, соответствующие рассчитанным параметрам.

Относительные значения частот питающего напряжения в соответствии с заданием:

$$f_{1н1} = 50 \text{ Гц}, f_{ж1} = \frac{f_{1н1}}{f} = \frac{50}{50} = 1;$$

$$f_{1н2} = 42 \text{ Гц}, f_{ж2} = \frac{f_{1н2}}{f} = \frac{42}{50} = 0,84;$$

$$f_{1н3} = 18 \text{ Гц}, f_{жс3} = \frac{f_{1н3}}{f} = \frac{18}{50} = 0,36;$$

$$f_{1н4} = 10 \text{ Гц}, f_{жс4} = \frac{f_{1н4}}{f} = \frac{10}{50} = 0,2;$$

Расчет электромеханических характеристик

Электромеханическая характеристика электродвигателя $\omega(I_1)$ рассчитана по выражениям (2.3)–(2.5) для значения частоты $f_1 = f_{1н}$ и приведена на рисунке 8.

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1н}}{\sqrt{\left(R_{1экв1} + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1эс}^2 + \left(\frac{R_{1экв1} \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot X_{\muн} \cdot f_{1эс1}} \right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,048 + \frac{0,047}{\frac{104,72 - \omega}{104,72}} \right)^2 + 0,375^2 \cdot f_{1эс}^2 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,047}{\frac{104,72 - \omega}{104,72} \cdot 9,734 \cdot 1} \right)^2}}$$

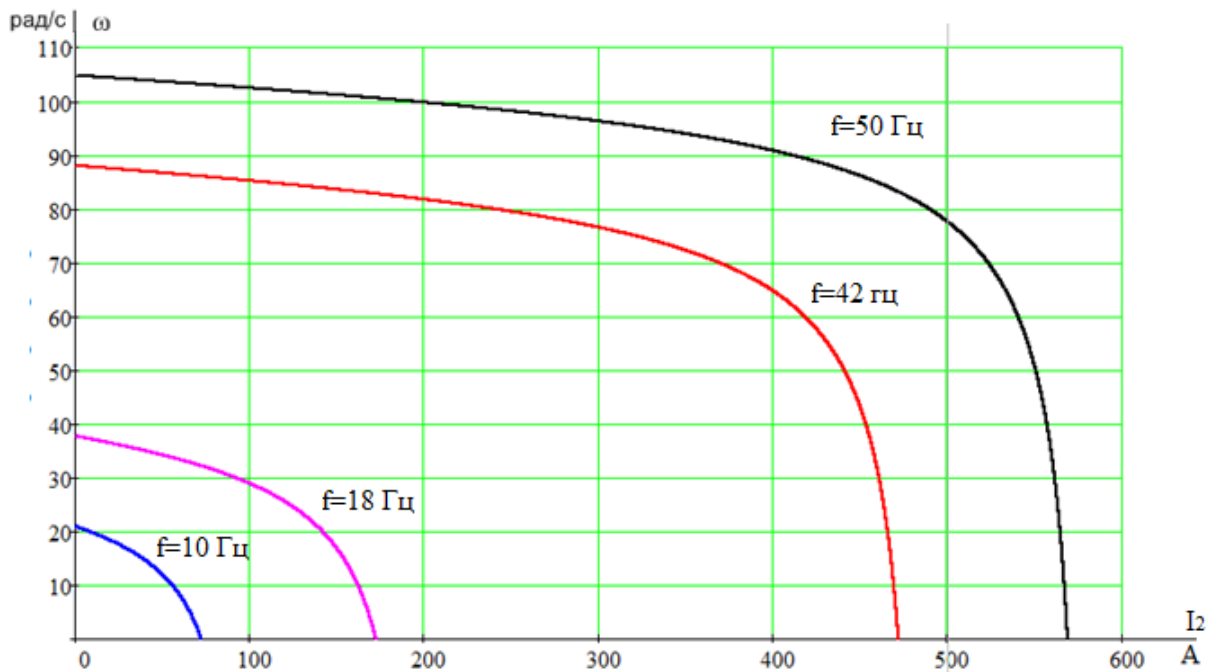


Рисунок – 8. Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_2)$

Расчет электромеханических характеристик, в зависимости от тока статора

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + \Gamma_2^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot \Gamma_2^2(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} =$$

$$= \sqrt{22,6^2 + \Gamma_2^2(s) + 2 \cdot 22,6 \cdot \Gamma_2^2(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

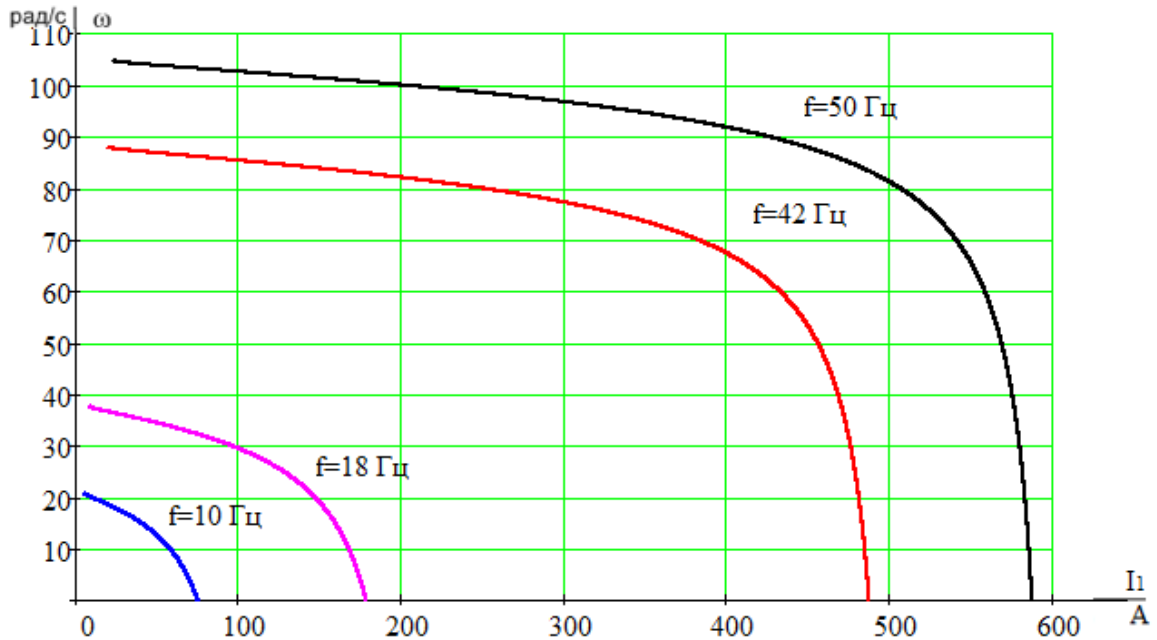


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$

Выполним расчет механической характеристики и вентиляторной нагрузки. Точки пересечения характеристик будут показывать точки работы электропривода.

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1\text{жс1}}^2 + \left(R_{\text{экв1}} + \frac{R_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{\text{экв1}} \cdot R_2}{s \cdot X_{\mu} \cdot f_{1\text{жс1}}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,047}{104,72 \cdot s \cdot \left[0,375^2 \cdot 1^2 + \left(0,048 + \frac{0,047}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,047}{s \cdot 0,048 \cdot 1} \right)^2 \right]};$$

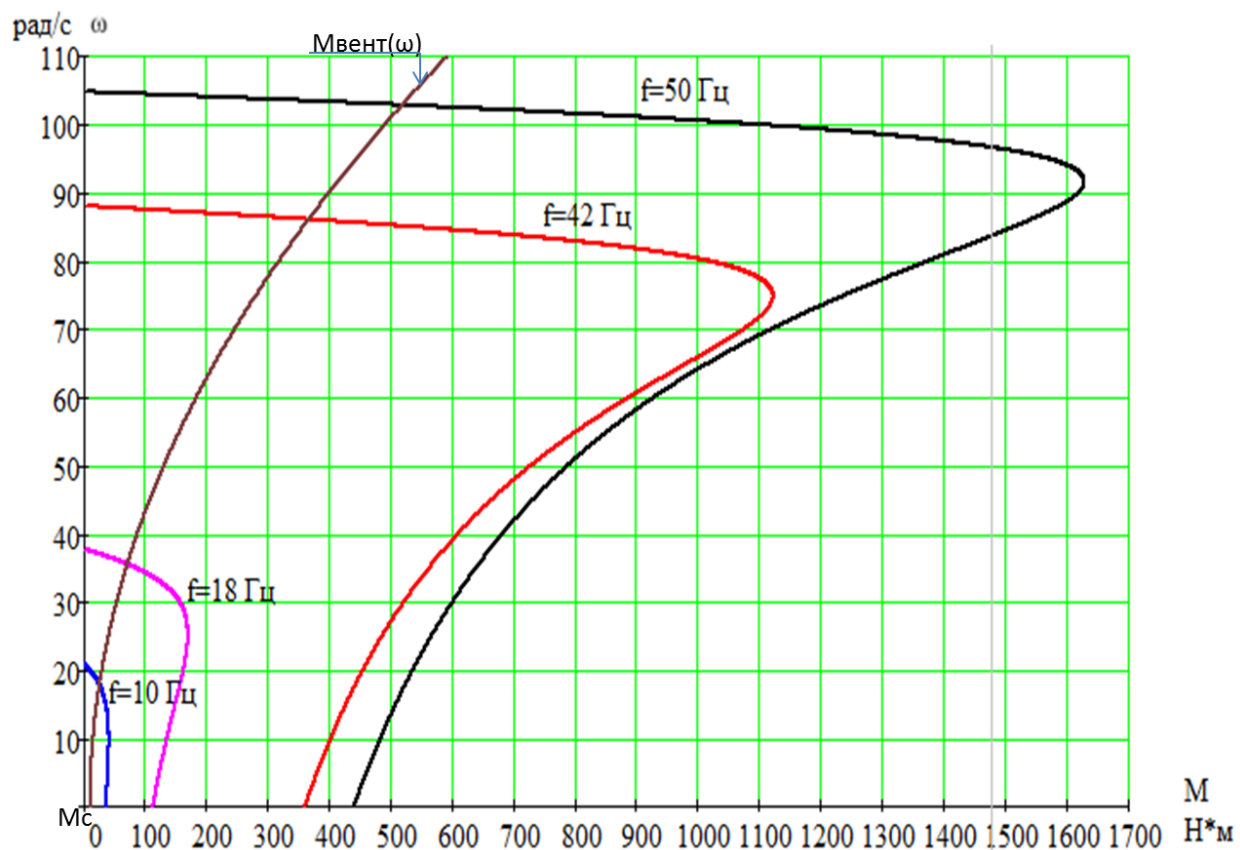


Рисунок 10 – Механические характеристики электропривода $\omega(M)$

3. Создание математической модели и проведение имитационного моделирования работы в MATLAB SIMULINK

3.1 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат.

Математическое описание силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель, в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_{\Sigma} \cdot (T_{\Sigma} p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_{\Sigma} \cdot (T_{\Sigma} p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_{\mu}}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_{\mu} \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2'}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_{\mu} \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2'}{R_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J_p} \cdot (M_{эм} - M_c) \end{cases}$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема на рисунке 7. Структурная схема, описывает процессы, происходящие в машине переменного тока, в которой действуют переменные величины напряжений, токов, потокосцеплений синусоидальной формы. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{уп\alpha}$ и $U_{уп\beta}$, а выходной

величиной ω – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема, характеризуется следующими промежуточными координатами:

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат α и β ;

$M_{\text{ДВЭМ}}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

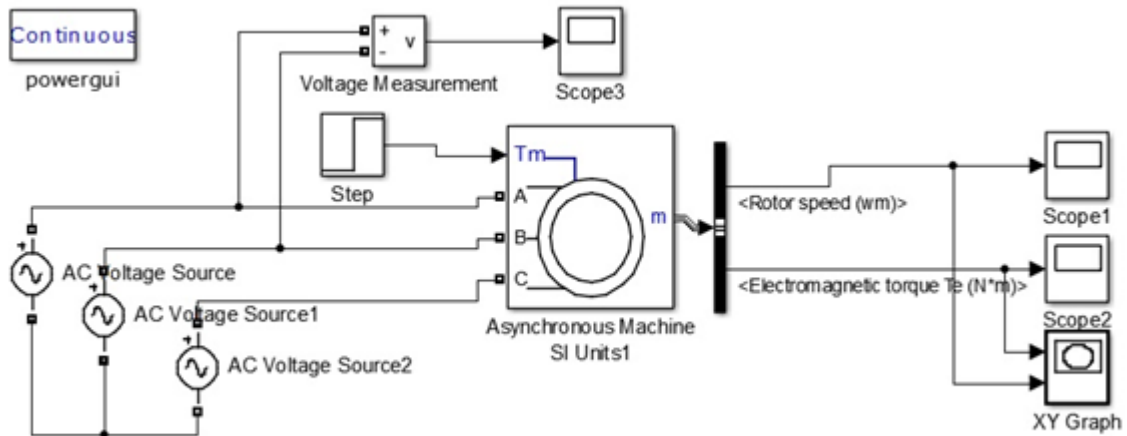


Рисунок 11 – Имитационная модель прямого пуска преобразователь - асинхронный электродвигатель

Динамические механические и переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске, полученные на модели, представлены на рисунках 12 и 14.

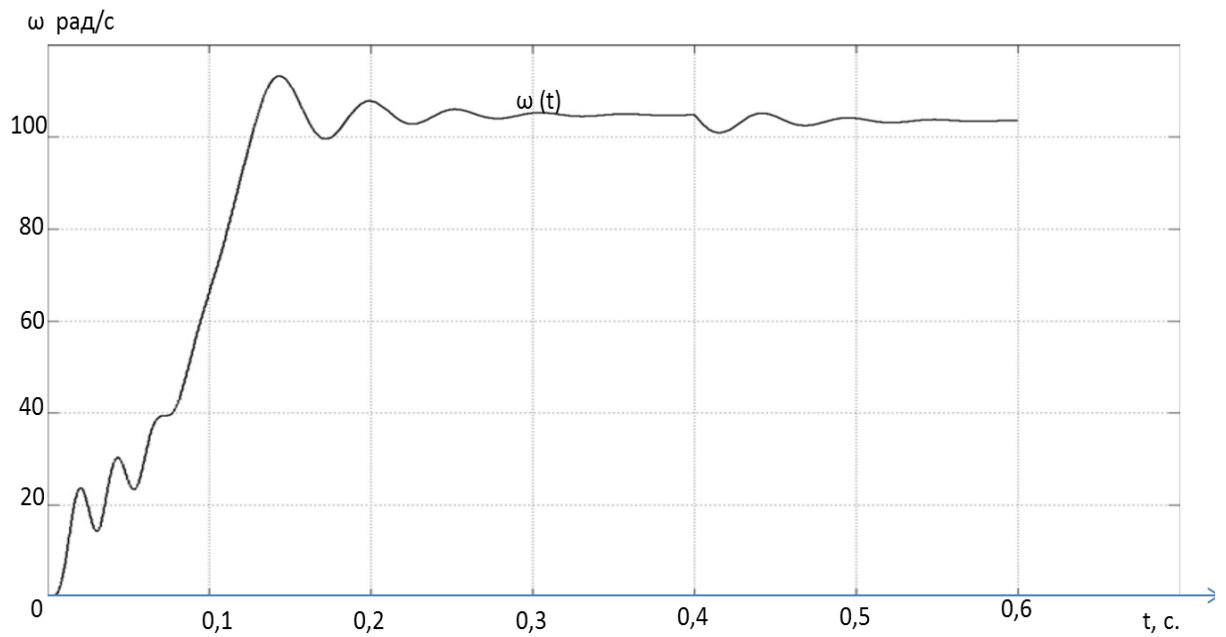


Рисунок 12. Переходный процесс частоты вращения при прямом пуске.

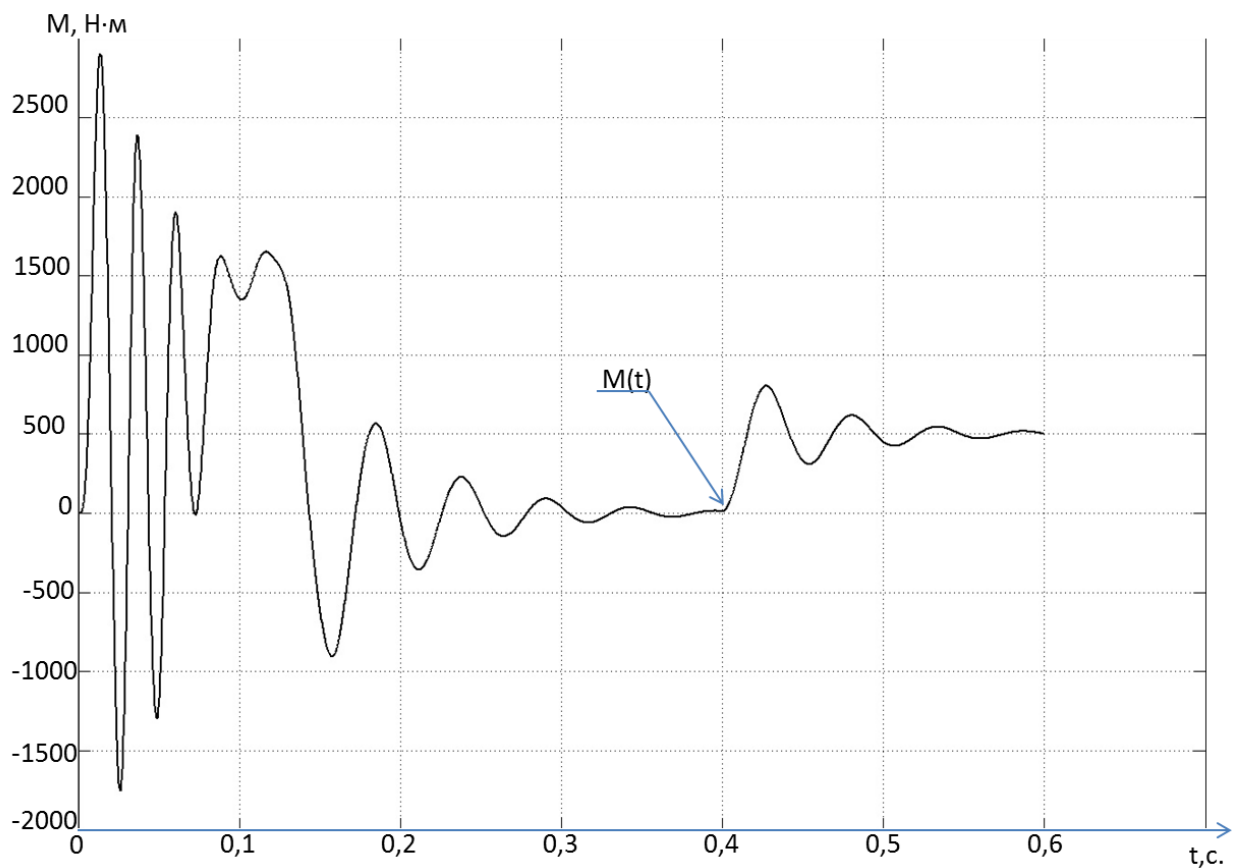


Рисунок 13 Переходный процесс электромагнитного момента при прямом пуске с набросом нагрузки.

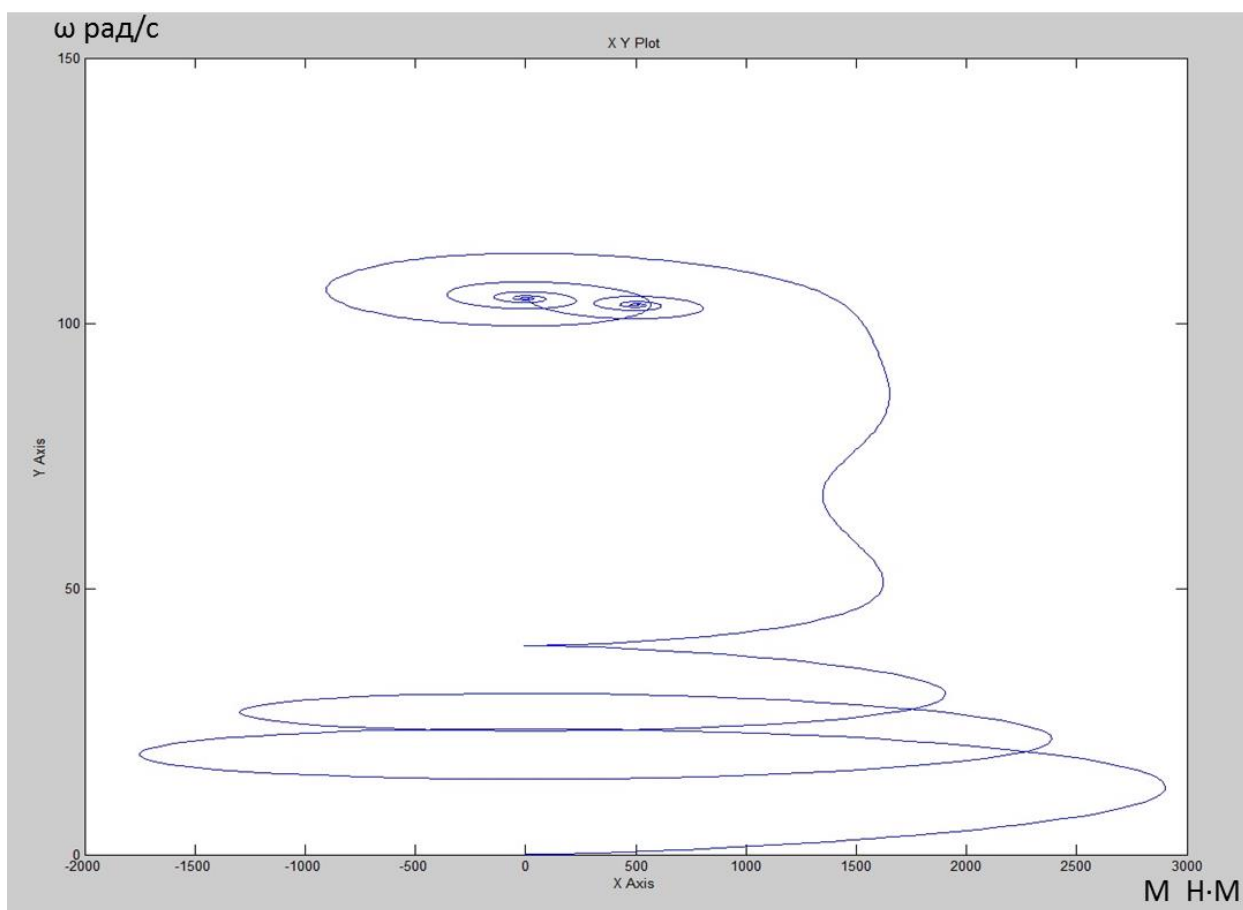


Рисунок 14 Динамическая механическая характеристика двигателя при прямом пуске.

Анализ графиков показывает, что при отработке переходных процессов без нагрузки (режим идеального холостого хода) асинхронный двигатель разогнался до синхронной скорости 104 рад/с, его электромагнитный момент установился равным нулю. В момент времени $t = 0.4$ с на валу двигателя произведен наброс нагрузки.

Также, анализируя переходные процессы при прямом пуске можно заметить наличие значительной колебательной составляющей в кривых момента, и затухающих по мере разгона двигателя. В итоге прямой пуск не позволяет получить удовлетворительного качества переходных процессов. Для устранения недостатков, возникающих при прямом пуске АД необходимо применять частотное регулирование.

3.2 Моделирование пуска электродвигателя с частотным законом управления $U/f^2 = \text{const}$

Имитационная модель электропривода со скалярным управлением представлена на рисунке 15.

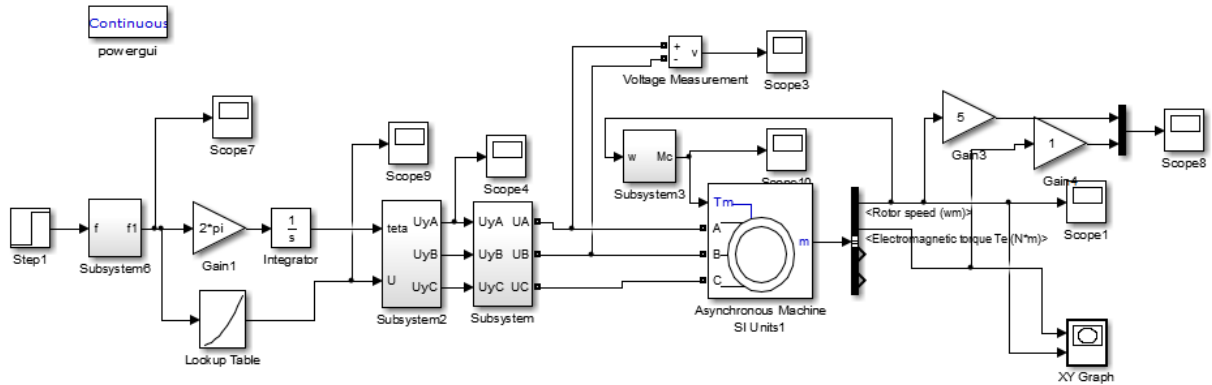


Рисунок 15 – Имитационная модель электропривода со скалярным управлением $U/f^2 = \text{const}$.

Проведем исследование влияния частоты на переходные процессы. На рисунках 16 – 18 представлены графики переходных процессов и вращения при частоте 50 Гц.

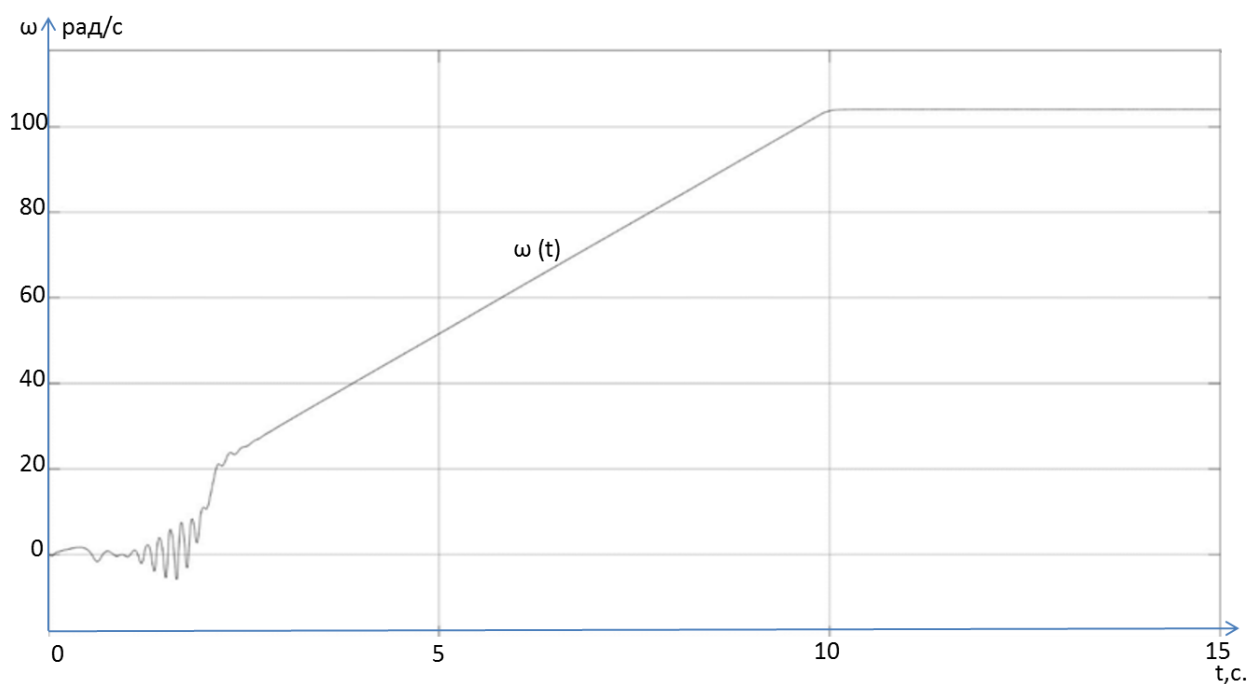


Рисунок 16 – График переходного процесса угловой скорости при частоте 50 Гц.

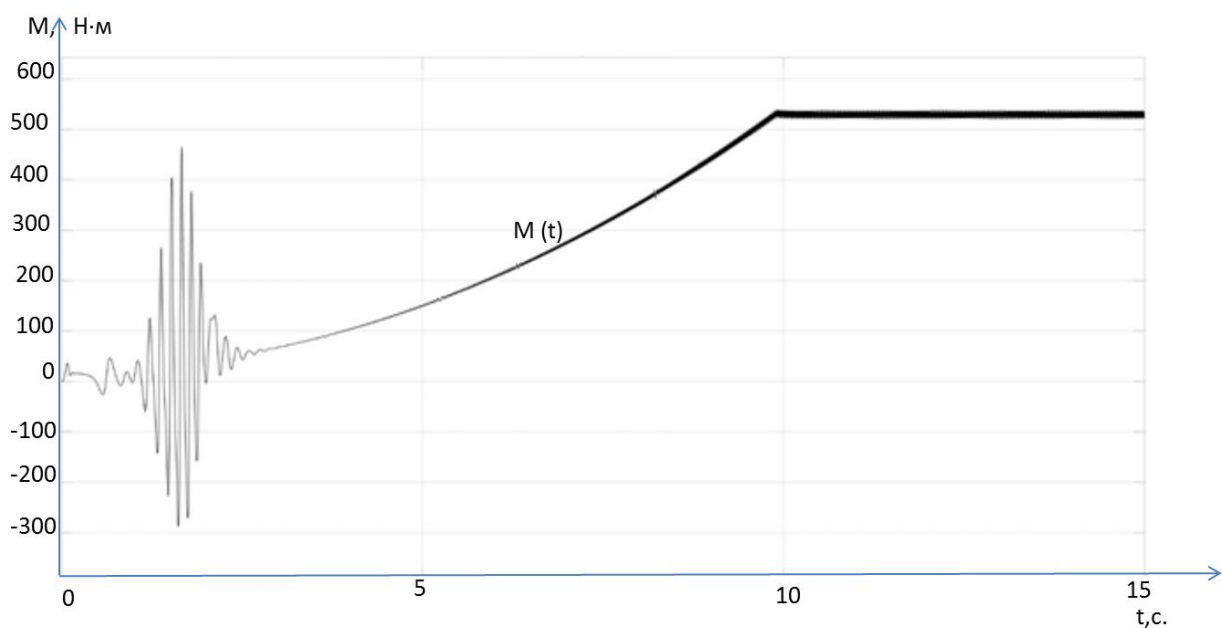


Рисунок 17 – График переходного процесса момента при частоте 50 Гц.

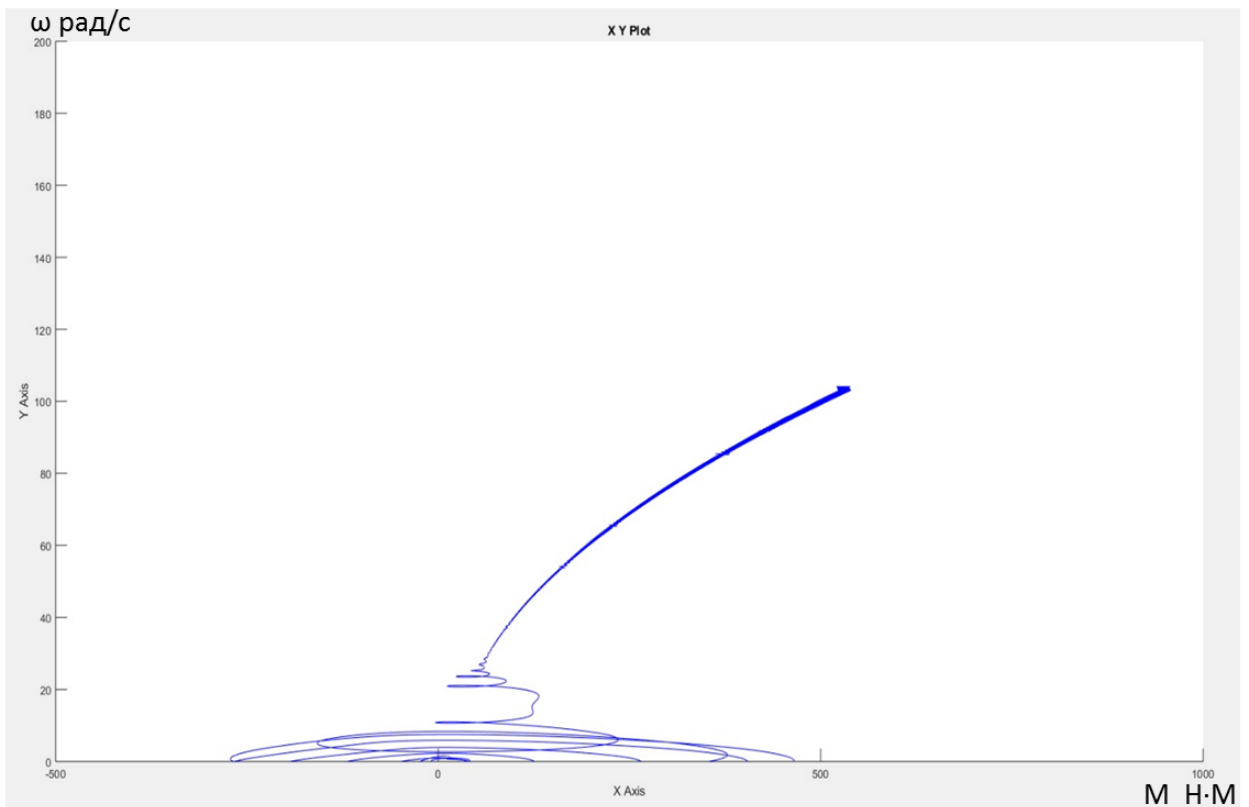


Рисунок 18 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=50$ Гц.

На рисунках 19 – 21 представлены графики переходных процессов и вращения при частоте 42 Гц.

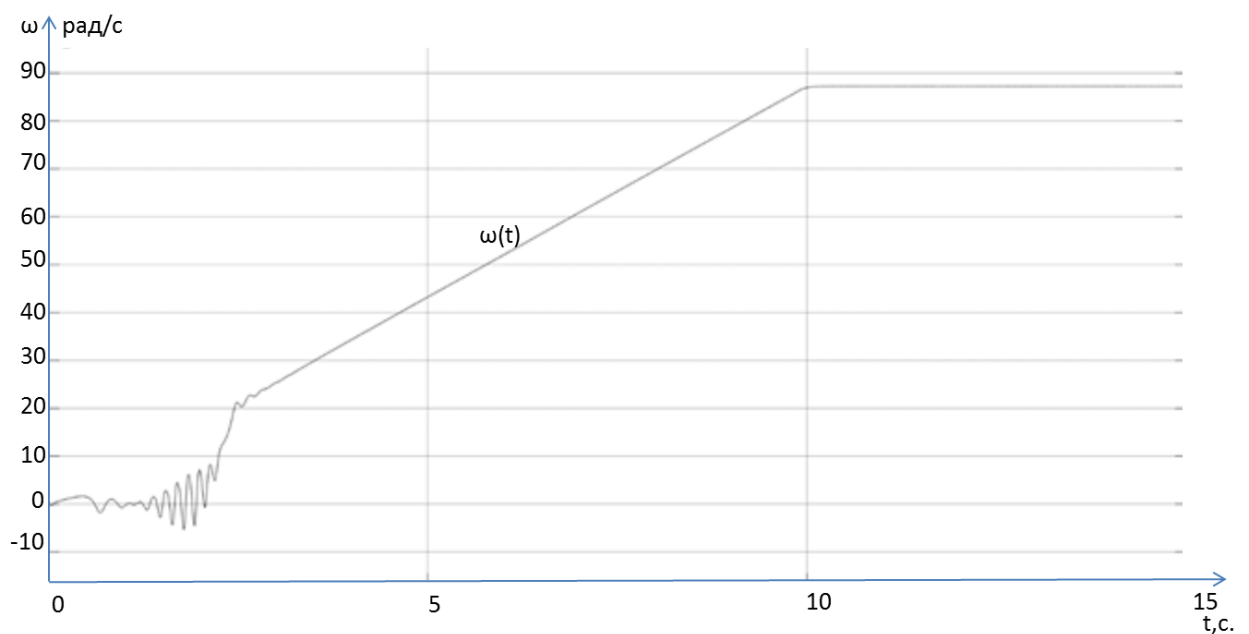


Рисунок 19 – График переходного процесса угловой скорости при частоте 42 Гц

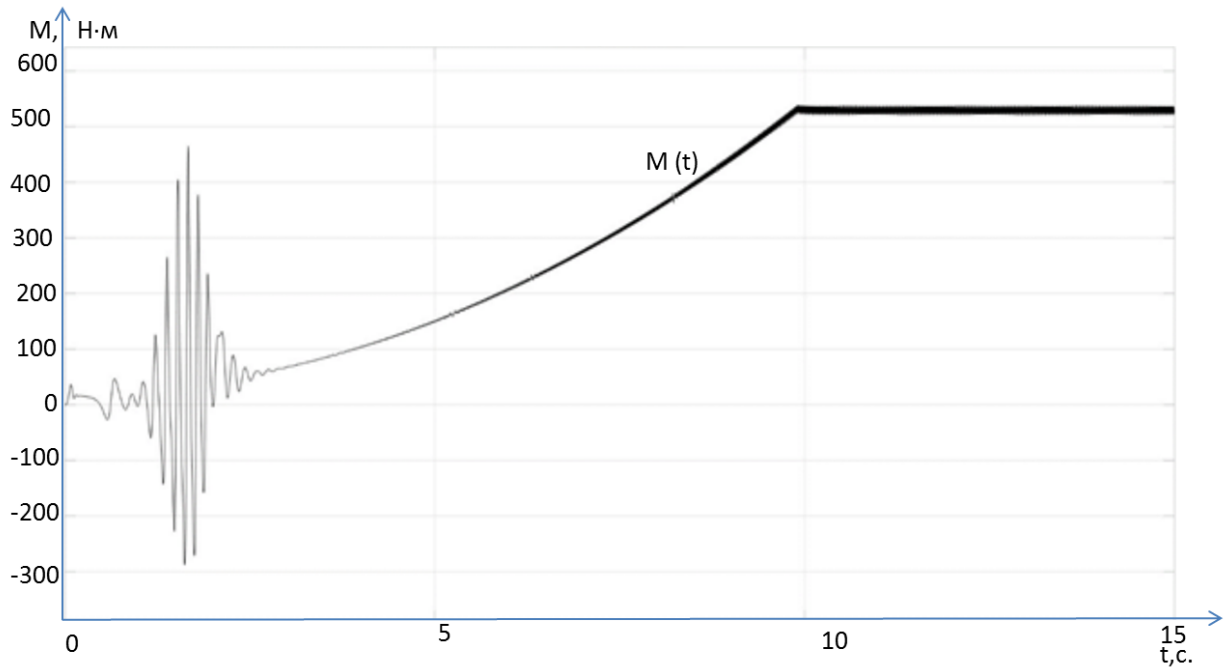


Рисунок 20 – График переходного процесса момента при частоте 42 Гц

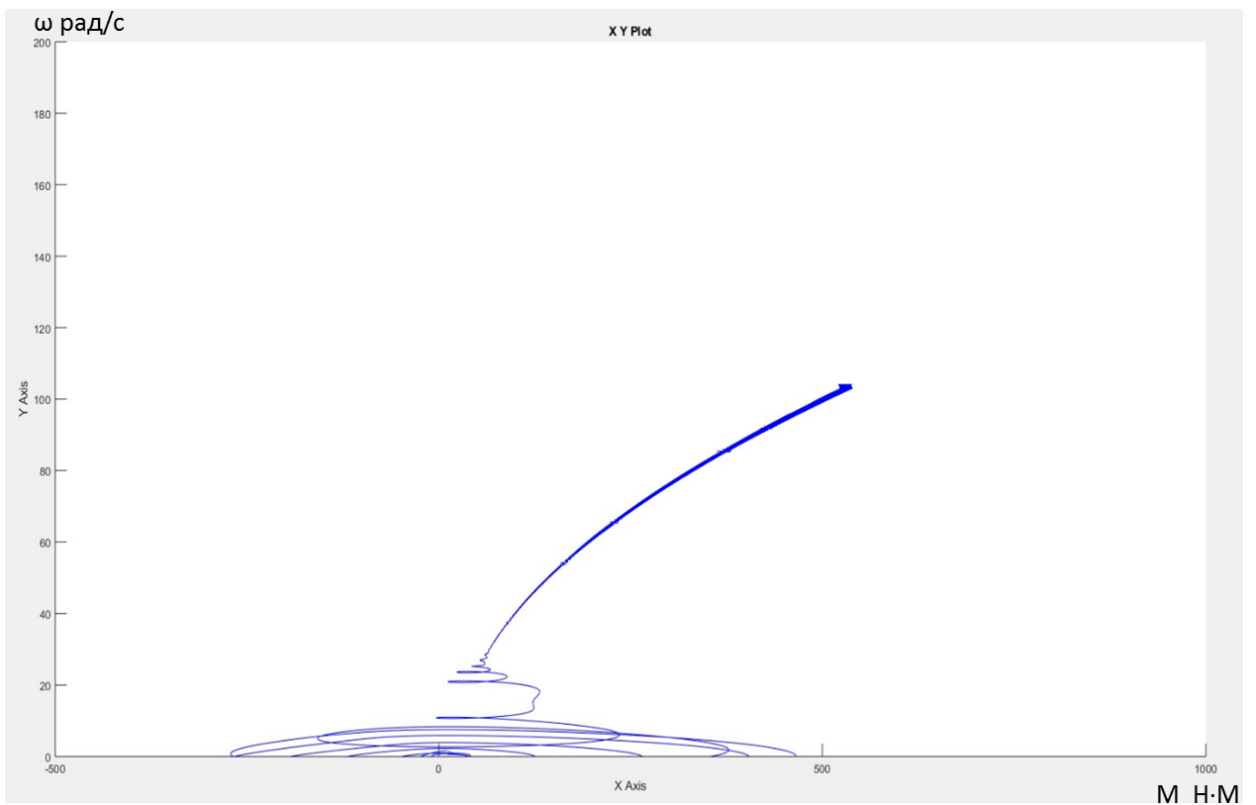


Рисунок 21 –Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=42$ Гц.

На рисунках 22 – 24 представлены графики переходных процессов и вращения при частоте 18 Гц.

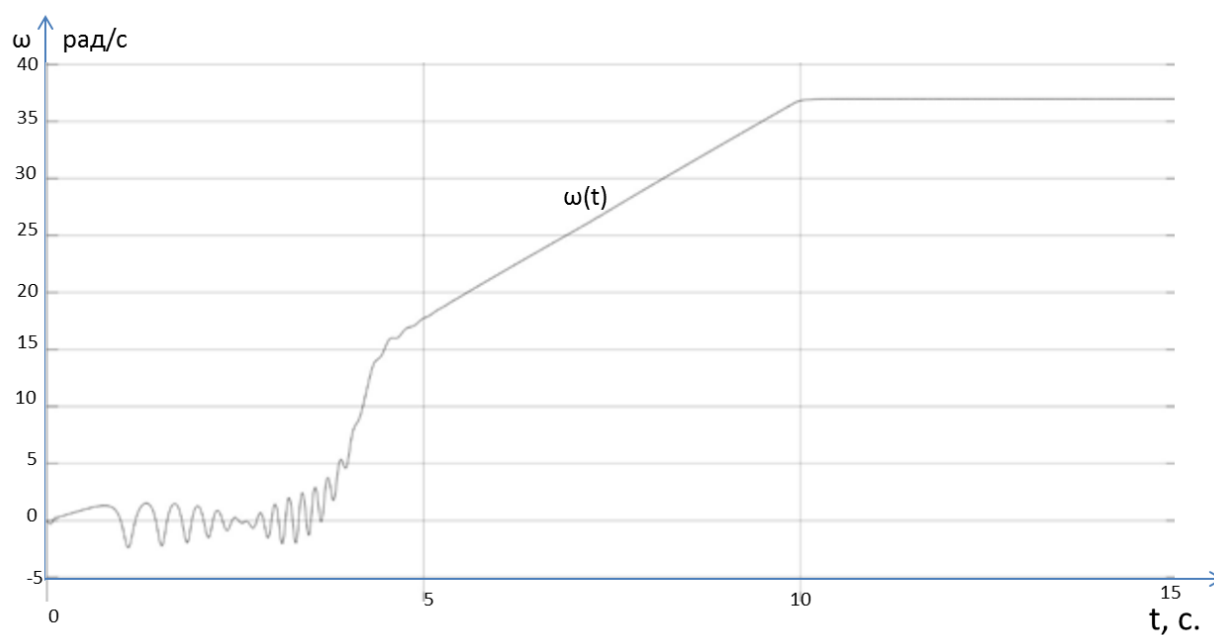


Рисунок 22 – График переходного процесса угловой скорости при частоте 18 Гц.

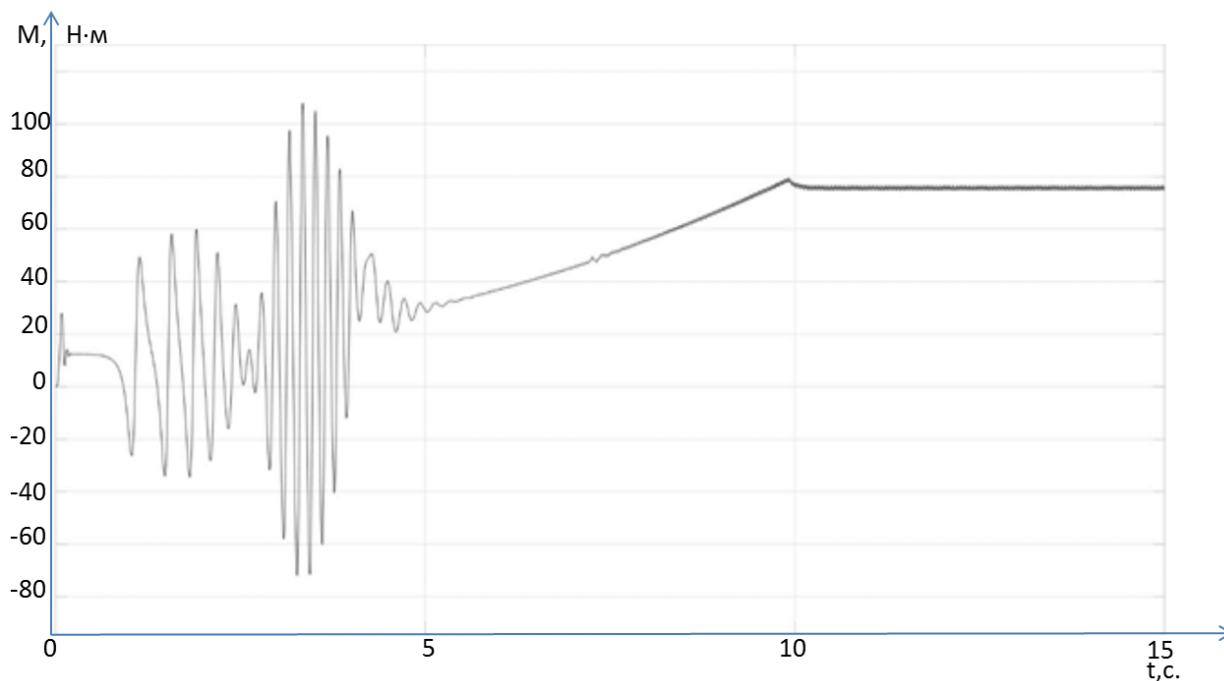


Рисунок 23 – График переходного процесса момента при частоте 18 Гц.

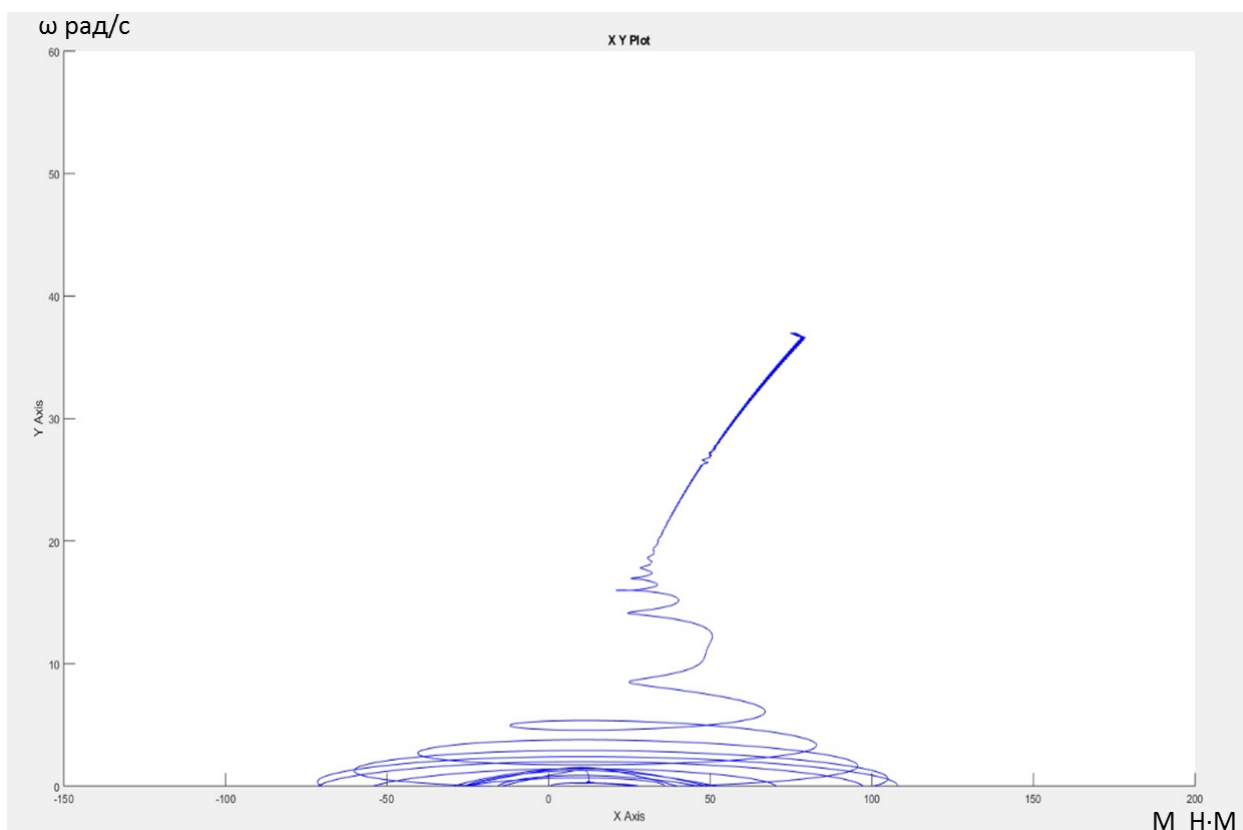


Рисунок 24 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=18$ Гц.

На рисунках 25 – 27 представлены графики переходных процессов и вращения при частоте 10 Гц.

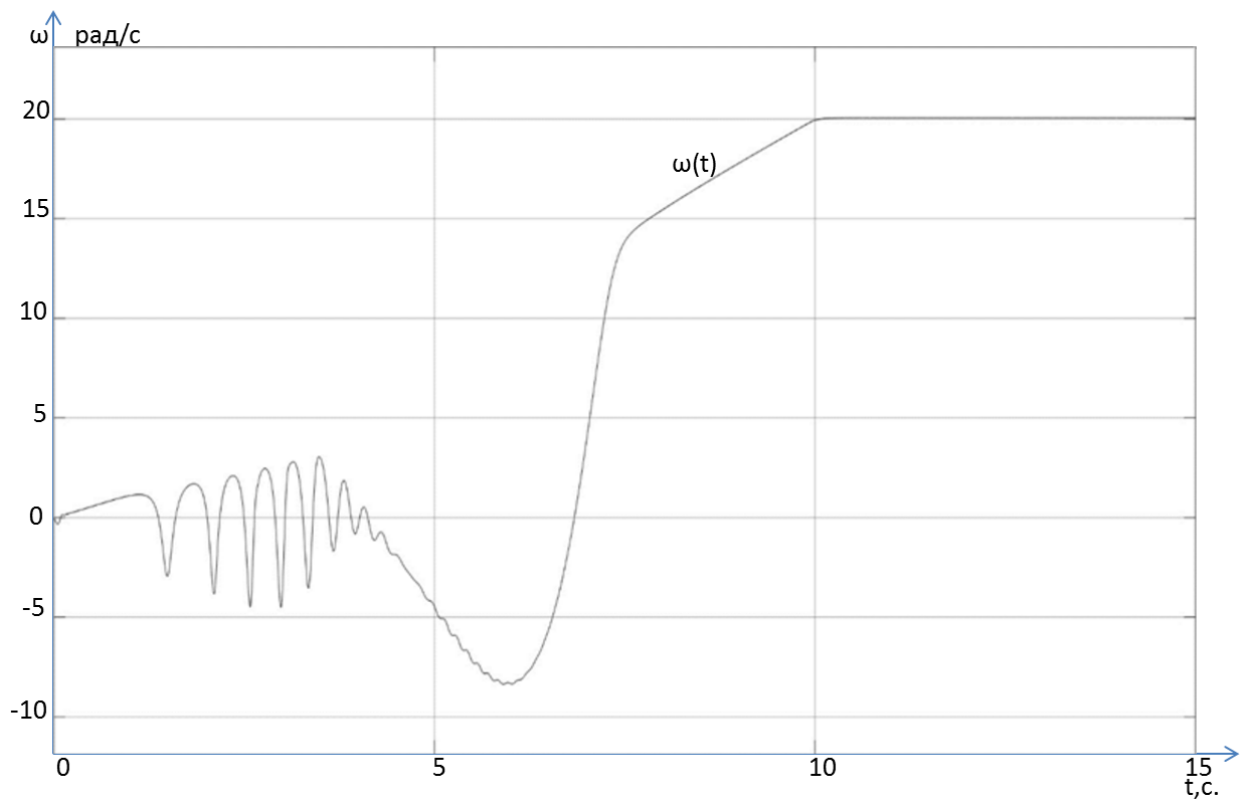


Рисунок 25 – График переходного процесса угловой скорости при частоте 10 Гц.

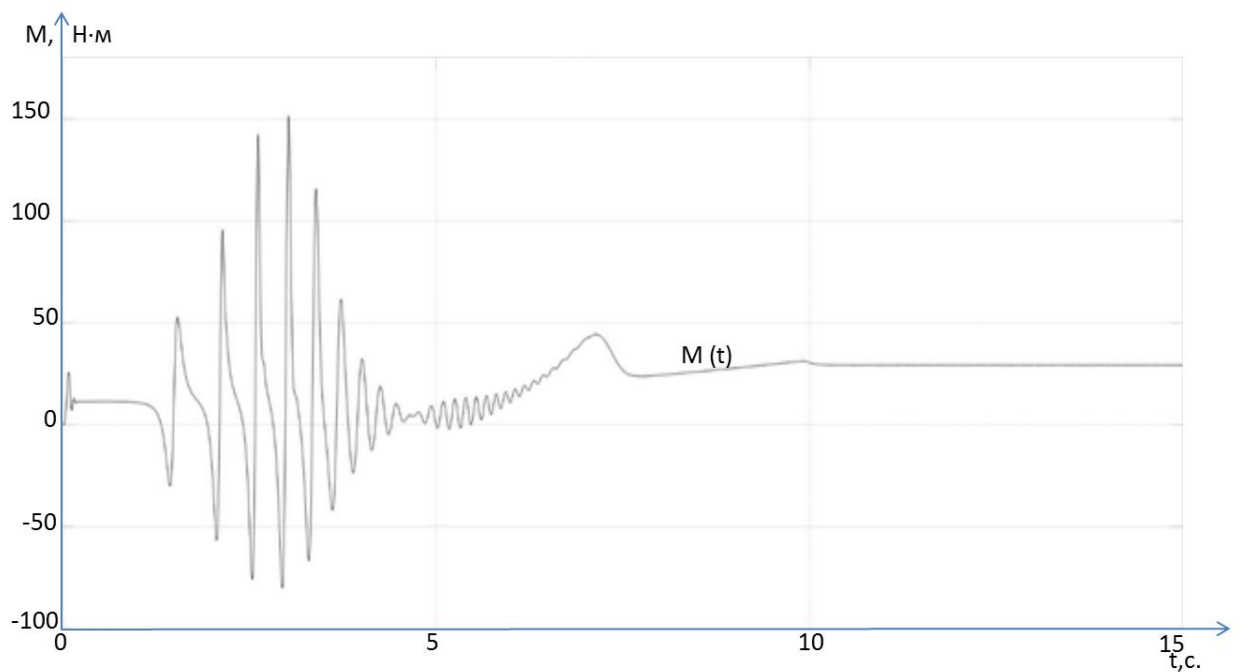


Рисунок 26 – График переходного процесса момента при частоте 10 Гц.

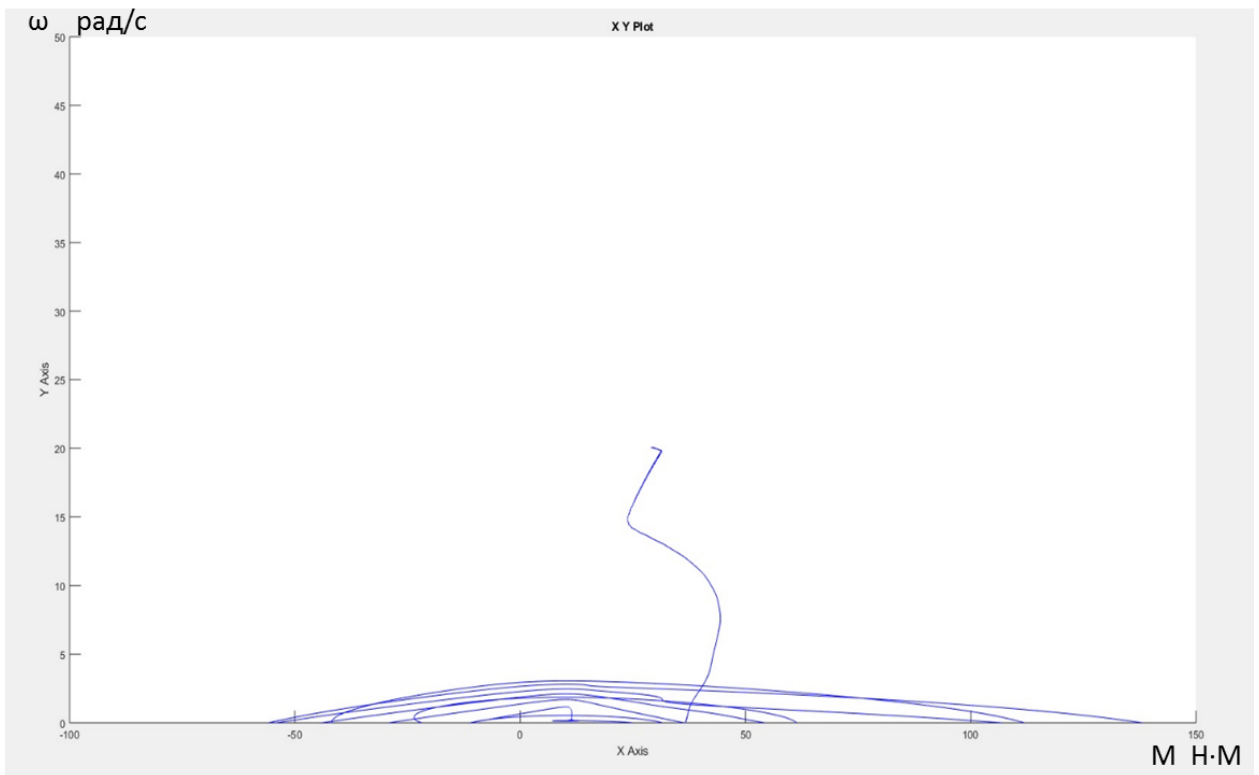


Рисунок 27 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=10$ Гц.

Выводы. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод при скалярном управлении с частотным законом управления и датчиком интенсивности на входе обеспечивает плавность нарастания скорости, уменьшение пусковых токов и моментов. Переходные процессы протекают за время 9,8 с при всех входных частотах.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой дипломного проекта является «регулируемый электропривод, предварительно проведя расчет параметров элементов силовой цепи и структурно-параметрический синтез регуляторов САУ РЭП.».

Двигатель в моём выпускной квалификационной работе марки RA-280M6 мощность 55 кВт 1000 об/мин.

В настоящее время перспективность технического проектирования определяется не столько масштабом проекта, оценить который на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для выполнения технологического проекта и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы будущего проекта.

Таким образом, целью данного раздела является обоснование целесообразности выпускной квалификационной работы, которая отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В данной части выпускной квалификационной работы будут рассмотрены:

- SWOT-анализ по разработке проекта электропривода питателя пыли;
- расчет затрат на проектные работы электропривода питателя пыли;
- оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

4 SWOT-анализ по разработке проекта электропривода питателя пыли

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 5 и 6.

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что сильных сторон у проекта больше, чем слабых. Самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывает перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 4- Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт оборудования	Сл1. Повышенный уровень вибрации Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
Возможности:		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя	В1С1С2С3С4	В1Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	В2С2С4С5	В2Сл1Сл2
В3. Резервное питание электропривода питателя пыли.	В3С1С2С4С5	В3Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В4С1С3С5	
Угрозы:		
У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1С5	У1Сл3

У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2С5	
У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции	У3С4	У3Сл1
У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	У4С5	У4Сл3

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	-
	В2	-	+	-	+	+
	В3	+	+	-	+	+
	В4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	В1	-	+	+		
	В2	+	+	-		
	В3	-	+	+		
	В4	-	-	-		

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	-	+
	У2	-	-	-	-	+
	У3	-	-	-	+	-
	У4	-	-	-	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	У1	-	-	+		
	У2	-	-	-		
	У3	+	-	-		
	У4	-	-	+		

5 Разработка графика проведения работ технического проекта

Для выполнения проектной работы формируется рабочая группа, в состав которой входят: руководитель, инженер.

Необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения технического проекта, провести распределение исполнителей по видам работ.

4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [5].

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Результаты расчетов приведены в таблице 5.4.

5.2.2 Разработка последовательного комплекса работ проекта

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ[5].

В приведенной ниже таблице 7 номерам этапов работы соответствуют следующие виды выполняемых работ:

№ 1 – разработка технического задания (ТЗ) – включает в себя изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – электрические схемы соединения, параметры двигателя и др. нагрузки;

№ 4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет параметров схем замещения;

№ 5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов;

№ 6 – выбор оборудования – выбрать приводной асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для питателя пыли;

№ 7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB;

№ 8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – Расчет и построение семейства механических $\omega(M_{эм})$ и электромеханических $\omega(I_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№ 9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником;

№10 – сдача проекта – подготовка к защите и защита проекта.

Таблица 7– Календарная продолжительность работ

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\min} , чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{\max} , чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	Продолжительность одной работы, T_p , раб.дн.
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	8	12	9,6	10
3	Сбор исходных данных	Дипломник	8	12	9,6	10
4	Подготовка данных для ввода в базу	Дипломник	8	12	9,6	10
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	14	16	14,8	15
6	Выбор оборудования	Дипломник	4	6	4,8	5
		Руководитель	1	1	1	1
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	14	16	14,8	15
		Руководитель	1	1	1	1
8	Расчёт и проверка модели АД-ПЧ	Дипломник	14	16	14,8	15
		Руководитель	1	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	8	12	9,6	10
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1	1
		Руководитель	1	1	1	1

4.2 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [5]. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- материальные затраты ТП;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как расходные материалы для проектирования данного проекта (канцелярские принадлежности, бумага, картриджи и т.д.) отнесены в накладные расходы.

4.3 Полная заработная плата исполнителей темы

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

(таблица 5.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.(30.2%);

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке, руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб. (30,2%)	Зарплата месячная, руб	Средняя заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	33600	16800	1014	65520	4479	5	19575
Инженер	12200	–	3684	29157	392	73	67678,75
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.							87253,75

Дополнительная заработная плата составляет 12-15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	19575	1721,25	11868,25
Инженер	0,12	87253,75	14659,3	112388,05
Итого		42128	5172	124256,3

4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$k_{\text{внеб}} = 30,2 \%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 47300 = 14,3 \text{ тыс.руб.}$$

4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат.

4.6 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 10

Таблица 10 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	-	-
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	47,3	64,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	37,276	19,4
4. Накладные расходы	55,18	16,0
Итого	4925,71	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 5.7, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 73,0 тыс.руб. Из которых более половины (84 %) составляют затраты на оплату труда исполнителей.

Стоимость комплектующих и оборудования, необходимых для проведения пусконаладочных работ, рассчитываем в таблице 11

Таблица 11 – Стоимость комплектующих и оборудования

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
				За ед.	Всего
1	Комплектный электропривод ЭПУ1-1-4047ЕУХЛ4	шт.	1	53000	53000
2	Электродвигатель RA280M6	шт.	1	290050	290050
3	Автоматический выключатель А3716	шт.	1	4000	4000
4	Токоограничивающий реактор РТСТ-41-1.01	шт.	1	8000	8000
5	Кабель силовой КГХЛ 3×6×4	м	30	115	3450
6	Кабель контрольный КВВГ 14×1,5	м	15	106	1590
	Итого				360090

5.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [5] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Вывод:

В данном разделе были рассмотрены мероприятия необходимые для введения в эксплуатацию дутьевого аппарата, определена сметная стоимость на пусконаладочные работы проводимые бригадой входящей в состав цеха.

Весь комплекс работ разбит на отдельные этапы и определено время выполнения каждого этапа пусконаладочных работ.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Основными законодательными актами по охране труда в нашей стране являются Конституция России, Основы законодательства и др. в этих документах отражены правовые вопросы охраны труда и здоровья трудящихся. На основании вышеперечисленных источников, а также исходя из соответствующих правил безопасности и норм производственной санитарии в данном проекте, разрабатываются основные мероприятия по созданию безопасных условий работы операторов при обслуживании скважин, оборудованных УЭЦН.

Всякая деятельность протекает из определенных мотивов и направлена на достижение конкретных целей. Жизнедеятельность – активное отношение человека к окружающему миру для целесообразного его преобразования. Абсолютно безопасной деятельности не существует. По данным Госкомстата, по различным причинам в Российской Федерации на производстве ежегодно травмируется 650-700 тысяч человек, 15-16 тысяч человек с летальным исходом, 6 млн. человек работают во вредных условиях, более 700 тысяч единиц оборудования и 61 тысяча зданий и сооружений не отвечает требованиям безопасности. В среднем, ежегодно происходит около 500 тысяч пожаров, основными причинами этих негативных явлений являются:

- недостаточный уровень обучения и квалификации персонала;
- несоответствие технологических процессов современным требованиям безопасности;
- недостаточное оснащение производства системами очистки выбросов;
- устаревшее оборудование.

В данном разделе, описывается несколько мероприятий по улучшению охраны и условий труда, предложены возможные чрезвычайные ситуации и их предотвращение. Выявление опасных и вредных факторов,

которые встречаются в проектируемом цеху, их опасное влияние на человека и окружающую среду.

5.1. Производственная безопасность

Комфортные и безопасные условия труда – это один из основных факторов, влияющих на производительность человека. Безопасность производства — это создание таких условий для работы, при которых сведены к минимуму возможности возникновения ситуаций, ведущих к физическому и моральному ущербу.

Для работы с установкой была выбрана лаборатория восьмого корпуса ТПУ, № 234 «Монтажа, наладки и эксплуатации электрооборудования». С габаритами: $a=7,8$ м; $b=6,4$ м; $h=3$ м.

Значение безопасности жизнедеятельности велико, так как здесь изучаются опасные и вредные производственные факторы, степень их воздействия на учащегося или педагога, разрабатываются организационные технические мероприятия, направленные на профилактику производственного травматизма и профессиональных заболеваний, создаются технические средства защиты, устраняющие или уменьшающие воздействие этих факторов, предупреждающие несчастные случаи путем анализа возможных аварийных ситуаций [33].

5.2 Вредные производственные факторы

- 1) Отклонение параметров микроклимата от допустимых значений;
- 2) Недостаточная освещенность;
- 3) Влияние электромагнитных полей;
- 4) Повышенный уровень шума.

5.3 Микроклимат

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно - эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.). [34]

При проектировании кабинета следует предусмотреть возможность создания комфортных микроклиматических условий. При этом необходимо учитывать следующие оптимальные значения температуры воздуха:

-холодный период года: 18-22 С°;

-теплый период года: 22-25 С°.

Согласно НТД при нормировании параметров микроклимата выделяют холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10°С и ниже и теплый период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10°С. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт).

К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

К категории Ib относятся работы с интенсивностью энерготрат 121 - 150 ккал/ч, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

К категории Pa относятся работы с интенсивностью энерготрат 151 - 200 ккал/ч, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

К категории Pb относятся работы с интенсивностью энерготрат 201 - 250 ккал/ч, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

К категории III относятся работы с интенсивностью энерготрат более 250 ккал/ч, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий.

Допустимые параметры микроклимата производственных помещений представлены в табл.12.

Таблица 12 - Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура а Ошибка!, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже Ошибка! величин t° _{опт}	Диапазон выше Ошибка! величин t° _{опт}			Если t°< t° _{опт}	Если t°> t° _{опт} "***"
Холодный	Ia	20,0 - 21,9	24,1 - 25,0	19,0 - 26,0	15 - 75 "***"	0,1	0,1
	Iб	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 - 75	0,1	0,2
	Pa	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
	Pб	15,0 - 16,9	19,1 - 22,0	14,0 - 23,0	15 - 75	0,2	0,4
	III				15 - 75	0,2	0,4
Теплый	Ia	21,0 - 22,9	25,1 - 28,0	20,0 - 29,0	15 - 75 "***"	0,1	0,2
	Iб	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75 "***"	0,1	0,3
	Pa	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75 "***"	0,1	0,4
	Pб	16,0 - 18,9	21,1 - 27,0	15,0 - 28,0	15 - 75 "***"	0,2	0,5
	III	15,0 - 17,9	20,1 - 26,0	14,0 - 27,0	15 - 75 "***"	0,2	0,5

Проанализировав таблицу 1, можно сделать вывод, что категория работ – Іб.

5.4 Освещенность

Естественное освещение создается природными источниками света и имеет высокую биологическую и гигиеническую ценность.

Освещение помещений естественным светом зависит от светового климата данной местности, габаритами окон, качества и содержания оконного стекла, цвета стен, глубины помещения, размеров световой поверхности окон, а также предметов, которые закрывают свет. Такое освещение помещения осуществляется через окна и может быть выполнено в виде бокового, верхнего или комбинированного.

В учебных помещениях парты и столы размещают так, чтобы свет падал с левой стороны от учащихся; высота подвески светильников должен быть не менее 2,5 м. Рабочие места в мастерских размещают таким образом, чтобы свет по возможности падал слева, верстаки были расположены перпендикулярно окнам. Местное освещение над верстаками осуществляют лампами накаливания напряжением до 42 В [35].

Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещенности, соответствующей характеру зрительной работы. Увеличение освещенности рабочей поверхности улучшает видимость объектов за счет повышения их яркости, увеличивает скорость различения деталей, что сказывается на росте производительности труда.

Производственное освещение должно обеспечивать отсутствие в поле зрения работающего резких теней. Наличие резких теней искажает размеры и формы объектов различия и тем самым повышает утомляемость, снижает производительность труда. Особенно вредны движущиеся тени, которые могут привести к травмам.

Для улучшения видимости объектов в поле зрения работающего должна отсутствовать прямая и отраженная блесность. **Блесность** – это повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая нарушение зрительных функций (ослепленность), т.е. ухудшение видимости объектов. Блесность ограничивают уменьшением яркости источников света, правильным выбором защитного угла светильника, увеличением высоты подвеса светильников, правильным направлением светового потока на рабочую поверхность, а также изменением угла наклона рабочей поверхности.

При организации производственного освещения следует выбирать необходимый спектральный состав светового потока. Это требование особенно существенно для обеспечения правильной цветопередачи. Оптимальный спектральный состав обеспечивает естественное освещение.

Осветительные установки должны быть удобны и просты в эксплуатации, долговечны, отвечать требованиям эстетики, электробезопасности, а также не должны быть причиной возникновения взрыва или пожара [36].

Расчет искусственного освещения аккумуляторного помещения

Расчет освещения проводим методом коэффициента использования. Принимаем систему общего освещения люминесцентными лампами.

Габариты помещения: $a=7,8$ м; $b=6,4$ м; $h=3$ м;

Коэффициенты отражения потолка- 70, стен- 50, пола- 20.

Для данного метода световой поток лампы определяется:

$$\Phi = \frac{(E \cdot K_z \cdot S \cdot Z) \cdot 100}{(N \cdot \eta)} = \frac{(300 \cdot 1,4 \cdot 50 \cdot 1,1) \cdot 100}{14 \cdot 46} = 3587 \text{ лм,}$$

где E – заданная минимальная освещенность, $E=300$ лк;

K_z – коэффициент запаса, (1,3-1,7);

S – освещаемая площадь, $S=7,8 \cdot 6,4=50 \text{ м}^2$;

Z – коэффициент неравномерности освещения (1,1-1,2);

N – число светильников

η – коэффициент использования;

Для определения коэффициента использования η рассчитываем индекс помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p \cdot (a + b)} = \frac{7,8 \cdot 6,4}{2,13 \cdot (7,8 + 6,4)} = 1,7,$$

где a – длина помещения, м;

b – ширина помещения, м;

h – высота помещения;

h_1 – высота подвеса светильника;

h_2 – расстояние от пола до рабочей поверхности;

h_p – расчетная высота.

$$h_p = (h - (h_1 - h_2)) = (3 - (0,07 + 0,8)) = 2,13 \text{ м.}$$

Разряд зрительной работы IVв, из табл 13

Табл. 13 - Требования к освещению помещений

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный
			б	Малый	Средний
				Средний	Темный
			в	Малый	Светлый
				Средний	Средний
Большой	Темный				
г	Средний	Светлый			
	Большой	«			
«	Средний	«			

Определяем коэффициент использования, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения, для светильника ЛПО 46-2x36-604 Luxe $\eta = 46$.

Для данного помещения требуется 14 светильников, равномерно распределенных по поверхности потолка.

Выбираем светильник ЛПО 46-2x36-604 Luxe – КПД - 80% и люминесцентные лампы ЛД 30 Вт $\Phi_{л} = 1800$ лм (в одном светильнике 2 лампы).

5.5 Электромагнитные поля

Поля сверхвысоких частот могут оказывать воздействие на глаза, приводящее к возникновению катаракты (помутнению хрусталика), а умеренных - к изменению сетчатки глаза по типу ангиопатии. В результате длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др. Многократные повторные облучения малой интенсивности могут приводить к стойким функциональным расстройствам центральной нервной системы, стойким нервно-психическим заболеваниям, изменению кровяного давления, замедлению пульса, трофическим явлениям (выпадению волос, ломкости и тд.)

Аналогичное воздействие на организм человека оказывает электромагнитное поле промышленной частоты в электроустановках сверхвысокого напряжения. Интенсивные электромагнитные поля вызывают у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной системы, страдает нейрогуморальная реакция, половая функция, ухудшается развитие эмбрионов (увеличивается вероятность развития врожденных уродств). Также наблюдаются повышенная утомляемость, вялость, снижение точности движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце

(обычно сопровождается аритмией), головные боли. В условиях длительного профессионального облучения с периодическим превышением предельно допустимых уровней у части людей отмечали функциональные перемены в органах пищеварения, выражающиеся в изменении секреции и кислотности желудочного сока, а также в явлениях дискинезии кишечника. Также выявлены функциональные сдвиги со стороны эндокринной системы: повышение функциональной активности щитовидной железы, изменение характера сахарной кривой и т.д. Предполагается, что нарушение регуляции физиологических функций организма обусловлено воздействием поля на различные отделы нервной системы. При этом повышение возбудимости центральной нервной системы происходит за счет рефлекторного действия поля, а тормозной эффект - за счет прямого воздействия поля на структуры головного и спинного мозга. Считается, что кора головного мозга, а также промежуточный мозг особенно чувствительны к воздействию поля. В последние годы появляются сообщения о возможности индукции ЭМИ злокачественных заболеваний. Еще немногочисленные данные все же говорят, что наибольшее число случаев приходится на опухоли кроветворных тканей и на лейкоз в частности. Это становится общей закономерностью канцерогенного эффекта при воздействии на организм человека и животных физических факторов различной природы и в ряде других случаев.

Основные меры защиты от воздействия электромагнитных излучений:

-рациональное размещение СВЧ и УВЧ установок - следует размещать в помещениях с капитальными стенами и перекрытиями,а также материалами, обладающими отражающей способностью — масляными красками и др.;

- уменьшение излучения непосредственно у источника (увеличение расстояния между источником и рабочим местом (ГОСТ 12.4.154 – 85);

- медосмотр — не реже одного раза в год;

- сокращенный рабочий день;
- применение средств индивидуальной защиты (спецодежда, защитные очки и др.);
- организационные меры (проведение дозиметрического контроля интенсивности электромагнитных излучений — не реже одного раза в 6 месяцев.

5.6 Повышенный уровень шума

Звуки различной частоты без корреляции по фазе – это шум. Уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах в производственных помещениях не должны превышать 75 дБА. ГОСТ 12.1.003-2014. При разработке новых технологических процессов, при проектировании, изготовлении, эксплуатации машин и оборудования, производственных зданий применяются все необходимые меры для снижения уровня шума до требуемых величин.

В процессе работы маховичного накопителя основной шум исходит от электрических машин. В результате возникает шум механического и электромагнитного происхождения – шум, возникающий вследствие вращения больших масс и электромагнитных процессов в роторе и статоре.

Воздействие шума на организм может проявляться в виде специфического поражения органов слуха, нарушений со стороны ряда органов и систем, снижением производительности труда, повышения уровня травматизма.

Для защиты от шума конструкции звукоизолируются согласно ГОСТ 12.1.029-80 [36].

Если уровень шума на работе превышает 70-80 дБ, вы должны использовать индивидуальные средства защиты (затычки для ушей, специальные наушники). В обеденный перерыв обязательно покидайте рабочее место и отправляйтесь в более тихое место, чтобы слух немного отдохнул и адаптировался к нормальному уровню громкости. Не реже 1 раза

в год (или в полгода, если уровень шума очень высокий) проверяйте слух у врача-оториноларинголога, следите за его состоянием, чтобы уловить момент ухудшения и принять меры.

5.7 ОПАСНЫЕ ФАКТОРЫ

- 1) Поражение электрическим током;
- 2) Механические травмы;;
- 3) Термический ожог;

5.8 Поражение электрическим током

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги.

Поражение электричеством может иметь место в следующих формах:

- остановка сердца или дыхания при прохождении электрического
- тока через тело;
- ожог;
- механическая травма из-за сокращения мышц под действием;
- тока;
- ослепление электрической дугой.

Под действием тока сокращаются мышцы тела. Если человек взялся за находящуюся под постоянным напряжением часть оборудования он, возможно, не сумеет оторваться от нее без посторонней помощи.

Более того, его, возможно, будет притягивать к опасному месту.

Под действием переменного тока мышцы периодически сокращаются с частотой тока.

Больше всего от действия электрического тока страдает центральная нервная система. Ее повреждение ведет к нарушению дыхания и сердечной деятельности. Смерть обычно наступает вследствие остановки сердца, или прекращения дыхания, или того и другого вместе.

Переменный и постоянный ток опасны почти в одинаковой степени.

90% поражений электричеством происходит из-за плохой организации труда и только 10% - по вине пострадавших. Квалифицированные работники получают электрические травмы гораздо реже неквалифицированных. Причина этого обычно не столько в квалификации, сколько в том, что работодателю выгодно тратиться лишь на охрану труда ценных работников.

Степень повреждения электрическим током определяется силой тока и длительностью его воздействия. Чем меньше сопротивление человеческого тела, тем выше ток. Электрическое сопротивление человеческого тела имеет иную природу, чем сопротивление металлических проводников и электролитов. Оно зависит от многих внешних и внутренних (в том числе психических) факторов. Уменьшению сопротивления тела способствуют следующие обстоятельства:

- высокое напряжение;
- влажность кожи (потение ладоней и пр.);
- длительное время воздействия;
- пониженное парциальное давление кислорода в воздухе: в горах, в плохо проветриваемых помещениях человек становится более уязвимым;
- повышенное содержание углекислого газа в воздухе;
- высокая температура воздуха;
- беспечность, психическая неподготовленность к возможному электрическому удару: человеческий организм устроен настолько своеобразно, что психика может влиять на сопротивление тела.

Электроожоги излечиваются значительно труднее обычных термических.

Некоторые последствия электротравмы могут проявиться через несколько часов, дней, месяцев. Пострадавший должен длительное время жить в "щадящем" режиме и находиться под наблюдением.

Для защиты от поражения электрическим током в аварийном режиме (пробое на корпус) должно быть использовано защитное заземление при

питании от сети типа IT (или зануление при питании от системы TN-C, TN-S) по ГОСТ 12.1.030-81, ПУЭ. При этом предельно допустимое напряжение прикосновения и ток через тело человека не должны превышать соответственно 20 В и 6 мА для частоты 50 Гц по ГОСТ 12.1.038-82; 3,5 мА для частоты 1000 Гц по европейским нормам СЕI EVN 50166-1.

Причины поражения электрическим током:

- прикосновение к токоведущим частям, оголенным проводам, контактам электроприборов, рубильников, ламповых патронов, предохранителей, находящихся под напряжением;
- прикосновение к частям электрооборудования, металлическим конструкциям сооружений и т.п., в обычном состоянии не находящихся, но в результате повреждения (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением:
 - нахождение вблизи места соединения с землей оборванного провода электросети;
 - нахождение в непосредственной близости от токоведущих частей, находящихся под напряжением выше 1000 В;
 - прикосновение к токоведущей части и мокрой стене или металлической конструкции, соединенной с землей;
 - одновременное прикосновение к двум проводам или другим токоведущим частям, которые находятся под напряжением;
 - несогласованные и ошибочные действия персонала (подача напряжения на установку, где работают люди; оставление установки под напряжением без надзора; допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.).

Опасность поражения электрическим током отличается от других производственных опасностей тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить ее на расстоянии. Часто эта опасность обнаруживается слишком поздно, когда человек уже оказался под напряжением [37].

Профилактика

Профилактика электротравмы заключается в соблюдении техники безопасности при работе с электроприборами. Важно также регулярно проверять исправность электроприборов.

При движении вблизи линий электропередач необходимо соблюдать осторожность, не наступать на провода, валяющиеся на земле, не отодвигать руками висящие провода [38].

5.9 Опасные факторы термического характера

При вращении движущихся частей двигателя можно получить ожоги. Нужно соблюдать следующие правила:

- Нельзя прикасаться к вращающимся частям во время работы;
- Нельзя прикасаться к нагретым частям голыми руками.

При монтаже электрооборудования необходимо, чтобы токопроводящие провода находились в местах недоступных для людей, не имеющих допуска к электрооборудованию.

При работе с электрооборудованием допускаются лица прошедшие инструктаж по технике безопасности и, сдавшие зачет по работе с данным электрооборудованием.

После окончания работы и во время перерывов в работе все оборудование необходимо отключить от сети [39] .

6. Экологическая безопасность

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоёмы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнений существенно превышает допустимые санитарные нормы .

Загрязняющими веществами, выбрасываемыми в в лаборатории являются: выбросы паров серной кислоты, содержащихся в аккумуляторных

батареях (ПДКм.р. в воздухе рабочей зоны 1 мг/кв. м, в атмосферном воздухе 0,3 мг/кв. м, ПДКс.с. 0,1 мг/кв. м).

Вода используется для вспомогательных целей: охлаждение (подогрева) исходных материалов и продукции предприятия, охлаждение деталей и узлов технологического оборудования, промывки и очистки продукции, что приводит к загрязнению воды растворимыми и нерастворимыми примесями; хозяйственно бытового обслуживания работников предприятия.

Работа в лаборатории сопровождается образованием производственных отходов, связанных с заменой и ремонтом оборудования, а также отходов, приравненных к твердым коммунальным. Виды образующихся отходов: инструментальном цехе осуществляется ремонт инструментов, оснастка и производство специального инструмента, в результате этих процессов образуются отходы – лом цветных и черных металлов (втулки, катушки, провода, шестерни и т. д.), мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный), лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства. Твердые отходы 4-5 классов опасности собираются в контейнеры и по мере накопления (не реже одного раза в месяц) вывозятся на объекты размещения отходов. Отработанные люминесцентные лампы 1-го класса опасности подлежат временному накоплению, а затем передаются в специализированные организации для утилизации.

6.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожары в лабораториях, как и во всем современном электрифицированном мире, зачастую возникают по причине повреждения электропроводки, а также машин и агрегатов, находящихся под напряжением. Кроме того, «по старинке» пожароопасность выше там, где возможна неисправность топок, отопительных систем, повреждение емкостей с

легковоспламеняющимися жидкостями и тому подобные нештатные ситуации.

Пожарная профилактика - это совокупность основных противопожарных мероприятий, направленных на исключение возникновения пожара.

Мероприятия по пожарной безопасности разделяются на четыре основные группы:

- предупреждение пожаров, т.е. исключение причин их возникновения ;
- ограничение сферы распространения огня осуществляют правильной планировкой предприятий, соблюдением соответствующих противопожарных норм, применением огнепреграждающих устройств и т.д.;
- обеспечение успешной эвакуации людей и материальных ценностей из сферы пожара;
- создание условий эффективности тушения пожара [40].

Требования пожаро - и взрывобезопасности оборудования устанавливаются с учетом значений пожаро – и взрывобезопасности материалов и веществ, применяемых в конструкциях и при проведении технологических процессов (ГОСТ 12.1.004–91). В соответствии с ГОСТ 12.1.004 – 91 пожаро - и взрывобезопасность должны обеспечиваться:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

Предотвращение инициации пожара должно достигаться:

- предотвращением образования горючей среды;
- предотвращением образования в горючей среде (или внесения в неё) источников зажигания [41].

Пожарная профилактика достигается правильным проектированием, эксплуатацией и обеспечением средствами пожаротушения.

В зависимости от пожаро- и взрывоопасных свойств применяемых, производимых или хранимых веществ, все производство по степени пожарной опасности подразделяется на пять категорий: А, Б, В, Г, Д.

Первичные средства пожаротушения размещают в легко доступных местах. Огнетушители защищают от солнечных лучей, осадков.

Для улучшения условий труда необходимо намечать как можно большее количество позитивных мероприятий и соответствовать ГОСТам.

В помещении, где идет эксплуатация частотного привода, установлена пожарная сигнализация. Конструкция помещения предусматривает безопасную эвакуацию людей на случай пожара- должен быть составлен план эвакуации. Число эвакуационных выходов должно быть не менее 2. Ширина путей эвакуации не менее 1 метра. При возникновении пожара необходимо принять меры по ликвидации очага пожара, вызвать пожарную команду, а свободные работники должны немедленно покинуть здание согласно плану эвакуации [42].

На путях эвакуации запрещается:

- Загромождать эвакуационные пути и выходы (в том числе проходы, коридоры, тамбуры, лестничные площадки, марши лестниц, двери, эвакуационные люки) различными материалами, изделиями, оборудованием и другими предметами.

- Устраивать на путях эвакуации пороги, турникеты, раздвижные, подъёмные и вращающиеся двери и другие устройства, препятствующие свободной эвакуации людей.

- Фиксировать самозакрывающиеся двери лестничных клеток, коридоров, холлов и тамбуров в открытом положении (если для этих целей не используются автоматические устройства, срабатывающие при пожаре), а также снимать их.

- Применять горючие материалы для отделки, облицовки и окраски стен и потолков, а также ступеней и лестничных площадок на путях эвакуации.

При выборе электрооборудования для объектов добычи нефти и газа необходимо учитывать специфические условия работы электрических установок, связанных с наличием взрывоопасных газов и паров.

К взрывоопасным относятся смеси с воздухом горючих газов и паров горючих жидкостей с температурой вспышки 45°C и ниже, а также горючей пыли или волокон с нижним пределом взрываемости не выше 65 г/см^3 .

6.2 Правовые и организационные вопросы безопасности

Электро-технологический персонал производственных цехов и участков, не входящих в состав энергослужбы Потребителя, осуществляющий эксплуатацию электро-технологических установок и имеющий группу по электробезопасности II и выше, в своих правах и обязанностях приравнивается к электротехническому.

К самостоятельной работе допускаются лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучение по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе в объеме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.

Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочий получает - ежеквартально.

После первичного инструктажа в течение первых двух – пяти смен должен выполнять работу под наблюдением мастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой и подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.

Требования безопасности во время работы согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

- одеть рабочую обувь и одежду;

•заизолировать имеющиеся повреждения кабелей, соединений, зажимов и заземления;

- работать только исправными, заизолированными инструментами;
- убрать посторонние предметы, мешающие свободному перемещению;
- не допускать присутствия посторонних лиц при электромонтажных и других работах;
- не привлекать к работе лиц, не имеющих необходимой группы допуска по электробезопасности;
- работать только в диэлектрических перчатках;
- при использовании лестницы привлекать подсобного рабочего;
- пользоваться постоянными и предупредительными плакатами: предостерегающими «Под напряжением – опасно для жизни», запрещающими «Не включать – работают люди», разрешающими «Работать здесь», напоминающими «Заземлено»;
- не допускать замасливания кабелей, попадания на них искр, воздействия высокой температуры и падения тяжёлых предметов.

На предприятии все работники проходят проверки на выполнение всех вышеуказанных требований безопасности. Также перед допуском к оборудованию каждый работник проходит соответствующие инструктажи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является модернизация электропривода дутьевого вентилятора котельной КООА «АЗОТ». Предложено заменить существующий морально устаревший и выработавший ресурс нерегулируемый электропривод на частотно-регулируемый асинхронный электропривод. По результатам расчета требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель серии *RA280M6*, а также преобразователь частоты *ИРБИ 8(D)30*, НПФ «ИРБИС», г.Новосибирск.

Результаты аналитических расчетов и имитационного моделирования подтверждают правильность выбора силовых элементов – электродвигателя и преобразователя – и реализации системы автоматического частотно-регулируемого электропривода дутьевого вентилятора котла.

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель обеспечивает требуемые статические и динамические нагрузки привода дутьевого вентилятора, а система автоматического регулирования с векторным управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами. Окончательное решение по выбору типа и настройки технологического регулятора может быть принято по результатам производственных испытаний.

В экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода дутьевого вентилятора. Составлена смета на проведение ПНР и построен график занятости исполнителей при выполнении пусконаладочных работ, график выполнения пуско-наладочных работ и круговая диаграмма сметной стоимости на проведение пусконаладочных работ.

В разделе безопасности и экологичности проекта освещены вопросы: промышленной безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. — М.: Высшая школа, 2000. — 255 с.
2. Алиев И. И. Электротехнический справочник. — М.: ИП РадиоСофт, 2000. — 384 с.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. — М.: "Академия", 2004.
5. Дьяконов В. П. *MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5* : Основы применения : Полное руководство пользователя. — М. : СОЛОН-Пресс, 2002. — 768 с.
6. Дьяконов В. *Simulink 4*. Специальный справочник. — СПб: Питер, 2002. — 528 с.
7. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 560 с.
8. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электропроводах. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. — 172 с.
9. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 272 с.
10. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. /Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т.1. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 456 с.
11. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. — М.: Издательский центр "Академия", 2005. — 304 с.
12. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура

регулирования: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.

14. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 6. Механическая система электропривода постоянного тока: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн.– Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 180 с.

15. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.

16. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 448 с.

17. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: учебное пособие по курсовому проектированию. – Томск: Изд-во ТПУ, 1991. – 104 с.

18. Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с

19. М.В.Суворов. Энергосберегающий комплекс управления тягодутьевыми механизмами котельной. «Экологические системы», №6,2005.

20. М.В.Суворов. Технико-экономическое обоснование применения преобразователей частоты для привода вентилятора. «Экологические системы», №6,2005.

21. <http://www.irbis-privod.ru>